بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

معمای نوترینوها

در جستجوی فیزیک فراتر از مدل استاندارد

مولفان :

حامی فریدیوسفی- هدی قوامی نیا

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد دزفول

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 : معمای نوترینوها/ مولفان حامی فریدیوسفی، هدی قوامی‌نیا.
مشخصات نشر : ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران) ، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری : ۱۶۸ص.
شابک : ۹-۲۲۶-۳۳۹-۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
موضوع : نوترینو
Neutrinos
نوترینو -- به زبان ساده
Neutrinos -- popular works
شناسه افزوده : قوامی‌نیا، هدی، ۱۳۶۱-
رده بندی کنگره : QCv۹۳/۵
رده بندی دیویی : ۵۳۹/۷۲۱۵
شماره کتابشناسی ملی : ۹۳۲۰۶۱۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

نام کتاب : معمای نوترینوها
مولفان : حامی فریدیوسفی- 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 : ۱۳۵۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان :
https://chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۹-۲۲۶-۳۳۹-۶۲۲-۹۷۸
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www. chaponashr. ir

انتشارات ارسطو
چاپ و نشر ایران
Chaponashr.ir

پیشگفتار

معمای نوترینوها مجموعه مقاله‌های مجله‌ی الکترونیکی با نام تقارن است. نثر و شیوه‌ی بیان مطالب داستانی است و مخاطبین درحین مطالعه، در جریان سیر تاریخی کشف این ذرات مرموز و شبح‌وار قرار می‌گیرند. مقالات زیبایی در این کتاب گنجانده شده که تصویرگری آن توسط استودیو سندباکس شیکاگو طراحی شده و مخاطب با خواندن مقالات و دیدن تصاویر به درک و آگاهی بیشتری درمورد این ذرات خواهد رسید. موضوع مقالات به دورازهرگونه فرمول فیزیکی است و نشان دهنده اوج تبلور فلسفه فیزیک است. مصاحبه شوندگان مقالات که گاه نظریه پردازان و آزمایشگران فیزیک نوترینو هستند به دنبال حل مسائلی در علم فیزیک هستند که هنوز پاسخی برای آن‌ها یافت نشده و لذا فلسفه‌پردازی درمورد آنها دور از واقعیت نیست.تصور می‌شود پاسخ به بسیاری از سوالات تا زمانی که آشکارسازهای دقیق‌تری طراحی و ساخته نشوند، پنهان بماند. خواه آزمایش‌های

آینده قادر به یافتن پاسخ باشند یا خیر، علم از این جستجو سود خواهد برد. پروژه‌های عظیمی که دردهه‌های گذشته بر روی آنها سرمایه گذاری شده، رو به اتمامند. این آزمایش‌ها با دقت بالا و فناوری پیشرفته‌شان می‌توانند اسرار بسیاری از نوترینوها را رمز گشایی کرده و فیزیک نوینی را ارایه دهند. راز فیزیک نوترینو با اسرار جهان به عنوان یک کل درهم آمیخته است که امید به کشف این راز داریم.

این کتاب مطلوب مخاطبینی است که به یافتن اسرار جهان علاقه‌مند هستند. چنانچه مخاطب اهل فن، کتاب را مطالعه نمود خواهشمندم به‌منظور ارتقا کیفیت کتاب، کاستی‌ها را به نویسنده یادآوری نماید. به امید روزی که اطلاعات بیشتری در مورد نوترینوها کسب و کاربرد آنها در زندگی قابل لمس باشد.

حامی فریدیوسفی

اردیبهشت ۱۴۰۲

فهرست مطالب

چگونه یک پرتو نوترینو بسازیم ۹

نوترینوها، نامناسب های مدل استاندارد ۱۵

سفر از مرکز زمین ۳۲

واپاشی بتای دو گانه بدون نوترینو ۴۱

چگونه می‌توان پازلی مانند نوترینو را حل کرد ۴۴

آیا نوترینو ضد ذره‌ی خودش می باشد؟ ۵۵

نوترینوها روی الاکلنگ ۶۱

نوترینوهای پنهان ۶۸

کوکتل نوترینو ۷۵

نوترینو ۶۰ ساله می شود ۸۱

یک نوترینو چقدر سنگین است ۹۳

آزمایش‌های نوترینویی تغییردهنده بازی ۱۰۰

آماده برای فراتر از مدل استاندارد ۱۱۴

کدام نوترینو سنگین ترین است؟ ۱۱۹

جستجو برای نوترینوی استریل ۱۲۷

چرا نوترینوها جمع نمی‌شوند ۱۳۵

روش‌های وزن کردن نوترینو ۱۴۵

آیا تأثیرات پنهان به نوترینوها جرم کوچک آنها را می‌دهد؟ ۱۶۱

چگونه یک پرتو نوترینو بسازیم[1]

نوترینوها ذرات گریزانی هستند که مطالعه آنها دشواراست، اما ممکن است به توضیح برخی از بزرگترین اسرارجهان ما کمک کنند. دانشمندان با استفاده از شتاب‌دهنده‌ها برای ساخت پرتوهای نوترینو، اسرار نوترینوها را فاش می‌کنند.

نوترینوها یکی از فراوان ترین ذرات جهان هستند که به‌ندرت با ماده تعامل دارند. برخی از اسرار برجسته‌ی علمی امروزی، ازجمله این‌که چرا مقدار ماده‌ی موجود در جهان بیش از مقدار پاد ماده است می‌تواند با مطالعه‌ی نوترینوها و تشخیص

[1] How to make a neutrino beam
By Jessica Orwig
https://www.symmetrymagazine.org

برهم‌کنش آنها با ماده حل شود. میلیاردها نوترینو از منابع طبیعی، از جمله خورشید، در هر ثانیه از هر سانتی‌متر مربع زمین عبور می‌کنند. با این حال دانشمندان نمی‌توانند به راحتی نوع اولیه‌ی آنها یا مسافتی را که دقیقاً قبل از رسیدن به یک آشکارساز طی کرده‌اند تعیین کنند.

برای مطالعه‌ی مؤثرتر نوترینوها، دانشمندان با استفاده از شتاب دهنده‌های پروتون، پرتوهای نوترینویی پرشدت تولید می‌کنند. تنها آزمایشگاه‌هایی در جهان که قادر به تولید پرتوهای پرقدرت نوترینو می‌باشند، آزمایشگاه جی پارک در ژاپن، مرکز تحقیقات سرن در اروپا و آزمایشگاه شتاب دهنده ملی فرمی در ایالات متحده است. در هر دو ثانیه آزمایشگاه فرمی یک تریلیون نوترینو را به سمت آشکارسازهای ذرات واقع در شمال مینه سوتا بیش از چهارصد و پنجاه مایل دورتر شلیک می‌کند.این پرتو پر قدرت حدوداً هزار برهم‌کنش نوترینو درسال در آشکارسازها ایجاد می‌کند. دانشمندان با دسته‌ای از پروتون‌های گاز هیدروژن، پرتوهای نوترینویی پرشدت می‌سازند.

آنها سرعت هر دسته را تقریباً به سرعت نور می‌رسانند و آن را به هدفی که معمولاً از گرافیت یا بریلیم ساخته شده است می‌کوبند.

پروتون‌ها هسته‌های اتمی هدف را می‌شکنند و ذرات جدیدی از جمله پیون‌های با طول‌عمر کوتاه که منبع نوترینوها و ضد نوترینوها هستند را تولید می‌کنند. میدان‌های مغناطیسی قوی و به‌دقت تراز شده باعث تغییر جهت پیون‌ها می‌شوند تا تقریباً همه‌ی آنها در یک جهت حرکت کنند و پرتویی به عرض یک متر از پایون‌های دارای بار مثبت یا منفی ایجاد کنند. پایون‌هایی با بار مثبت، که تنها برای کسری از ثانیه زندگی می‌کنند، به آنتی‌میون‌ها و نوترینوهای میون تجزیه می‌شوند. بقیه آنها با همان طول عمر کوتاه مدت ولی دارای بار منفی به میون‌ها و پادنوترینوهای میون تجزیه می‌شوند. بلوک‌های آلومینیوم، فولاد و بتن آخرین مراحل برای ایجاد یک پرتو خالص نوترینو یا پاد نوترینو هستند. بلوک‌ها همه‌ی ذرات را جذب و یا متوقف می‌کنند. به جز نوترینوهای شبح مانند یا پاد نوترینوها که بدون تغییر از آن عبور می‌کنند.

پرتوهای نوترینو و پادنوترینو برای بسیاری از آزمایش‌های فیزیک ذرات مهم هستند. چرا که تعاملات نوترینوها را با ذرات دیگر، چگونگی نوسانی شدن یک نوع نوترینو به نوع دیگر، تعیین تفاوت بین رفتار نوترینو و پاد نوترینو، اندازه‌گیری تفاوت جرم بین سه نوع مختلف نوترینو و جستجو برای انواع جدیدی از نوترینوها که می‌توانند از نوسانات نوترینو بیرون بیایند را بررسی می‌کنند.

دانشمندان بیش از پنجاه سال است که پرتوهای نوترینو را با شتاب دهنده‌های پروتون ایجاد می‌کنند. در سال ۱۹۶۱ آزمایشی در آزمایشگاه ملی بروکهاون منجر به کشف نوترینو میون برنده جایزه نوبل شد.در آینده دانشمندان امیدوارند با استفاده از میون به جای پایون، پرتوهای نوترینویی بهتری بسازند.

میون پسر عموی سنگین الکترون بوده و هنگامی‌که تجزیه می‌شود، یک نوترینوی میونی و یک پادنوترینوی الکترونی تولید می‌کند. آزمایش ان یواستورم پروژه پیشنهادی با هدف تولید پرتو نوترینو از واپاشی‌های میون است. از آنجایی‌که میون‌ها حدود صد برابر بیشتر از پایون‌ها عمر می‌کنند، سرعت گرفتن و متمرکز کردن آن‌ها آسان‌تر بوده و قبل از واپاشی مسافت بیشتری را نیز

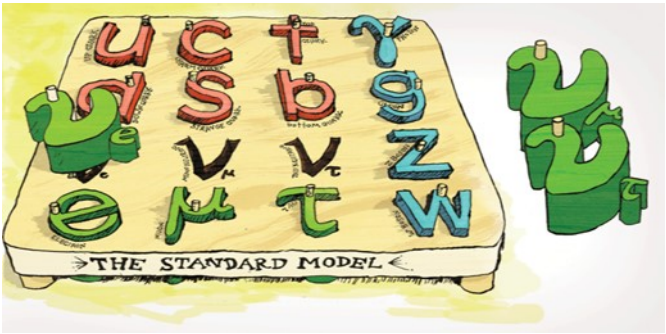
طی می‌کنند. چالش موجود تولید و جمع‌آوری مقدار کافی میون، به حرکت درآوردن آنها و ذخیره آنها در یک حلقه شتاب دهنده تا زمانی که فروپاشی آنها رخ دهد، می‌باشد. راه‌های دیگری نیز برای تولید نوترینو بدون استفاده از شتاب دهنده وجود دارد. در سال ۱۹۵۶ کلاید کوان و فردریک رینز از یک راکتور هسته‌ای درساوانا برای کشف پاد نوترینو الکترونی استفاده کردند. برخلاف شتاب‌دهنده‌ها که می‌توانند هم نوترینو وهم پادنوترینو تولید کنند، راکتورهای هسته‌ای فقط پاد نوترینو الکترونی تولید می‌کنند که برای آزمایش‌های پروژه خلیج دایا در چین، که نوسانات ضد نوترینو الکترون را در فواصل کوتاه بررسی می‌کند، عالی است.

برای انجام آزمایش‌های نوسان نوترینو که نوترینوها را در مسافت‌های صدها کیلومتری روی زمین می‌فرستند، راکتورهای هسته‌ای عملی نیستند. برخلاف پرتوهای متمرکز نوترینویی که توسط یک شتاب‌دهنده تولید می‌شوند، پادنوترینوهای یک راکتور هسته‌ای در همه‌ی جهات حرکت می‌کنند، دقیقاً مانند یک لامپ که نور را به همه‌ی جهات می‌تابد. برخی دانشمندان درحال بررسی راه‌هایی برای استفاده از نوترینوها برای

کاربردهای دیگر هستند. شاید نوترینوها بتوانند ابزار ارتباطی آینده برای مکان‌هایی که امواج رادیویی نمی‌توانند به آنها فرستاده شوند، مانند زیردریایی‌های اعماق آب‌ها یا ماهواره‌هایی که در فواصل دور در حرکت هستند، باشند. این امر مستلزم پرتوهای نوترینوی بهتر و آشکارسازهای نوترینو فوق حساس است.

برای امکان تحقق این ایده، گروهی از دانشمندان آزمایشگاه فرمی از یک پرتو نوترینویی برای ارسال پیام کوتاه رمزگذاری شده از فاصله دویست وچهل متری استفاده کردند. آنها با استفاده از آشکارساز نوترینو مینروا پیامی را که نوترینو نام‌گذاری شده بود، شناسایی و رمزگشایی کردند. ارسال این پیام ساده به فاصله دویست و چهل متر به قدرتمندترین پرتو نوترینوی جهان نیاز داشت و حدود نود دقیقه طول کشید. روزی دانشمندان ممکن است فناوری‌های کارآمدتری را برای مهار قدرت نوترینوها به روش‌های جدید و جالب کشف کنند.

۲-نوترینوها، نامناسب‌های مدل استاندارد[۱]



برای سال‌ها، دانشمندان فکر می‌کردند که نوترینوها کاملاً با مدل استاندارد مطابقت دارند. اما این گونه نیست. با درک بهتر این ذرات عجیب و غریب و گریزان، دانشمندان به دنبال درک بهتر عملکرد همه‌ی کیهان هستند.

نوترینوها به همان اندازه که در همه جا حضور دارند، مرموز هستند. نوترینو یکی از فراوان‌ترین ذرات جهان است که از بیشتر مواد عبور می‌کند. در حال حاضر میلیاردها نوترینو بدون ضرر از بدن من و شما عبور می‌کنند. جرم آنها به قدری کوچک است که تاکنون هیچ آزمایشی در اندازه گیری آنها موفق نبوده است. آنها

[۱] Neutrinos, the Standard Model misfits
By Joseph Piergrossi
https://www.symmetrymagazine.org

تقریباً با سرعت نور حرکت می‌کنند. آنقدر نزدیک که یک اتصال کابلی معیوب در آزمایش نوترینو در آزمایشگاه ملی گران ساسو ایتالیا در سال ۲۰۱۱ منجر به این گمانه زنی شد که آنها ممکن است تنها ذره‌ی شناخته شده در جهان باشند که سریعتر از نور حرکت می‌کنند. فیزیک‌دانان زمان زیادی را صرف کاوش در خواص این ذرات نامرئی کرده‌اند. در سال ۱۹۶۲ آنها کشف کردند که نوترینوها بیش از یک نوع (طعم) دارند. در پایان قرن دانشمندان این سه طعم را شناسایی کردند (نوترینو الکترونی، نوترینو میون و نوترینو تاو). آنها به کشف عجیبی رسیدند، که نوترینوها می‌توانند طعم را از طریق فرآیندی به نام نوسان تغییر دهند. این واقعیت شگفت‌انگیز نشان‌دهنده یک انقلاب در فیزیک است. اولین برهم‌کنش‌های ذرات شناخته شده‌ای که فیزیک را فراتر از مدل استاندارد بسیار موفق نشان می‌دهد. مدل استاندارد بیانگر چارچوبی نظری است که فیزیک‌دانان طی دهه‌ها برای توضیح ذرات و برهم‌کنش‌های آنها ساخته‌اند.دانشمندان مطالعات جدیدی روی نوترینوها انجام داده اند که امیدوارند بتوانند به برخی از سوالات بزرگ همچون:

جرم نوترینوها چقدر است؟

آیا نوترینوها ضد ذرات خودشان هستند؟

آیا بیش از سه نوع نوترینو وجود دارد؟

آیا نوترینوها جرم خود را مانند سایر ذرات بنیادی به‌دست می‌آورند؟

چرا ماده بیش از ضد ماده در جهان وجود دارد؟

پاسخ دهند. پاسخ به این سؤالات نه تنها دریچه‌ای به فیزیک فراتر از مدل استاندارد می‌گشاید بلکه ممکن است دری را برای پاسخ به سؤالات مربوط به کیهان و منشأ پیدایش آن باز کند.

طبیعت در مقابل ماشین

هنگام مطالعه‌ی نوترینوها سه انتخاب وجود دارد. یکی به دام انداختن نوترینوهای طبیعی در اثر واکنش‌های هسته‌ای در ستارگانی مانند خورشید و یا در برخورد ذرات کیهانی با جو زمین و به‌دام انداختن نوترینوهایی که در انفجارهای ستاره‌ای معروف به ابرنواخترها تولید می‌شوند. ستارگانی مانند خورشید نوترینوهایی با طعم الکترون تولید می‌کنند، درحالی که ذرات کیهانی و ابرنواخترها بسته‌ای ترکیبی از هر سه طعم نوترینو و همتایان ضد نوترینویی آنها تولید می‌کنند.

در روش دوم، نوترینوهای گسیل شده از راکتورهای هسته‌ای که برای خانه‌ها و مشاغل انرژی تولید می‌کنند، بررسی می‌شوند. راکتورها آنتی نوترینوهایی با طعم الکترون تولید می‌کنند. برای مطالعه‌ی نوترینوها از این نوع منبع، به ساخت یک آشکارساز ذرات در نزدیکی یک نیروگاه هسته‌ای نیاز است و اطلاعات ارزشمندی در مورد نوترینوها و برهم‌کنش‌های آنها با ماده به دست می‌دهد.

در روش سوم دانشمندان می‌توانند نوترینوها را با شلیک پروتون از یک شتاب‌دهنده به سمت قطعات گرافیت یا اهداف مشابه تولید کنند، در نتیجه انواع خاصی از نوترینوها منتشر می‌کنند. آزمایش‌های شتاب‌دهنده این مزیت را دارند که می‌توانند نوترینوها یا پادنوترینوها را بررسی کنند. پرتوهای شدید این ذرات شتاب‌دهنده، شانس وقوع برهم‌کنش نوترینو را در آشکارسازها افزایش می‌دهند.

علاوه بر این، شتاب‌دهنده‌ها می‌توانند نوترینوهایی تولید کنند که نسبت به نوترینوهایی که از راکتورها و خورشید ساتع می شوند، انرژی بیشتری دارند و به این دلیل آزمایش‌های شتاب دهنده در تعیین ماهیت دقیق نوترینوها بسیار ارزشمند می‌باشند.

مزیت دیگر منبع نوترینویی ساخته‌ی دست بشر این است که آشکارسازها را می‌توان در فواصل مشخصی از منبع بسته به هدفی که باید به آن رسید، قرار داد. فواصل بهینه می‌تواند از ده‌ها متر تا چند صد کیلومتر برای آزمایش‌های راکتور و صدها تا هزاران کیلومتر برای آزمایش‌های خط مبنای بلند که از نوترینوهای شتاب‌دهنده‌ها استفاده می‌کنند، متغیر باشد. به عنوان مثال، آزمایش نوترینوی خط مبنای بلند طوری برنامه‌ریزی شده که از شتاب دهنده موجود درآزمایشگاه ملی فرمی استفاده می‌کند.در این پروژه آشکارساز درجایی قرار دارد که آن را نقطه شیرین می‌نامند. مکانی‌که به اندازه کافی دورتر از نوترینوها است. زمانی که نوترینوها به آشکارساز برخورد می‌کنند، طعم آنها باید تا حد ممکن مخلوط شود. این آزمایش مطالب زیادی در مورد چگونگی نوسان نوترینوها به دست می‌دهد .به‌خاطر وجود هم زمان نوترینو و پادنوترینو فیزیک‌دانان می‌توانند تفاوت‌های بین برهم‌کنش‌های ماده و پادماده و معنای آن‌ها برای عدم تعادل بین ماده و پادماده در جهان را بررسی کنند.

اگر می‌توانید آنها را بگیرید.

آشکارسازهای نوترینو نیز طعم‌های مختلفی دارند. از آنجایی‌که خود نوترینوها برای آشکارسازها نامرئی هستند، دانشمندان باید رویکردی غیرمستقیم داشته باشند. آشکارسازها ذرات باردار و جرقه‌های نور ایجاد شده در هنگام برخورد یک نوترینو به اتم را ثبت می‌کنند و درنتیجه متوجه حضور نوترینو می‌شوند. از آنجایی که نوترینوهای کوچک به‌ندرت با ماده تعامل می‌کنند، تنها راه تشخیص آن قرار دادن مقدار زیادی ماده در مسیر آن است. سوپرکامیوکند، یک آشکارساز نوترینو کلاسیک در ژاپن می‌باشد که با پنجاه هزار تن آب پر شده است. نوترینوهایی که در جو زمین تولید می‌شوند، از خورشید می‌آیند و توسط یک شتاب دهنده در فاصله ۲۹۵ کیلومتری تولید می‌شوند و با مولکول‌های آب برهم‌کنش و ذرات باردار تولید می‌کنند. این ذرات به نوبه‌ی خود جرقه‌های آبی به نام تابش چرنکوف تولید می‌کنند. حسگرهای نور درون مخزن آب، این درخشش را گرفته و ثبت می‌کنند. آشکارساز نوا در اشریور شهر مینه‌سوتا، فناوری آن را ارتقا داده است و به جای آب از سوسوزن مایع که یک ماده شیمیایی است و به هنگام عبور ذرات چشمک می‌زند،