



## سرن در سال ۲۰۱۱

حسام‌الدین ارفعی\*

یعنی درخشندگی  $10^{32} \times 476$  ذره بر سانتی‌متر بر ثانیه تحقق یافت که بالاترین میزانی است که در شتابگرها به آن دست یافته‌اند. افزایش درخشندگی موجب ازدیاد شدید برخوردها و زیاد شدن تعداد حوادث می‌شود. ازدیاد آمار هم نتایج را دقیق‌تر می‌کند و هم احتمال کشف پدیده‌های نوین را به شدت افزایش می‌دهد.

در سرن علاوه بر آزمایش‌های ذرات و شتابگر مبتنی بر LHC آزمایش‌های دیگری نیز انجام می‌شود که از میان آنها می‌توان به آزمایش ابر (CLOUD) که نقش پرتوهای کیهانی در تشکیل ابرها را مطالعه می‌کند و آزمایش پادماده اشاره کرد. سرن علاوه بر اینها در چندین آزمایش دیگر در جهان نیز مشارکت دارد. یکی از آنها ساخت طیف‌نگار AMS (Alpha Magnetic Spectroscopy) بود که در ۲۷ آوریل ۲۰۱۱ توسط فضایی‌های Endeavour و در آخرین پرواز آن به ایستگاه بین‌المللی فضایی متصل شد تا در ده سال آینده جهان را نظاره کند و در پی پادماده و تارماده در عالم هستی باشد. سموتل تینگ سخنگوی این پروژه می‌گوید «AMS مواردی همچون پادماده و تارماده و منشاء پرتو کیهانی را می‌جوید. اما هیجان‌انگیزترین هدف آن کشف ناشناخته‌هاست». آنچه AMS را مهم می‌نماید دقت بسیار بالای آن است که برای کشف آنچه پیش‌بینی نکرده‌ایم بسیار اساسی است. این دقت حیرت‌آور است، می‌تواند یک پادهسته را در میان یک میلیارد ذره دیگر بیابد.

یکی دیگر از موارد مطرح هیجان‌انگیز در LHC برخورد هسته‌های سرب به یکدیگر و تشکیل فازی از ماده هسته‌ای است که گهگاه با عنوان پلاسمای کوارک گلوئون خوانده می‌شود. تشکیل این ماده در پیچه‌ای است بر لحظات اول (چند میکروثانیه) تکوین جهان که هنوز هسته‌ها شکل نگرفته بودند و جهان به صورت سیالی بسیار چگال و داغ از کوارک‌ها و گلوئون‌ها بود که این وضعیت در آزمایش برخورد هسته‌های سرب تکرار می‌شود.

در سال ۲۰۱۱ میلادی آزمایش‌های LHC در سرن بیشتر از آنچه انتظار می‌رفت نتیجه دادند. حجم داده‌ها به مراتب بیش از اندازه‌های طراحی شده بود که باعث شد برخی نتایج زودتر از زمان پیش‌بینی شده به دست آیند. بیانیه‌های مطبوعاتی رسمی سرن (press releases) گویای مهمترین این اتفاقات است.

اولین و شاید بهترین رویداد سرن در این سال، تصمیم‌گردانندگان آن به ادامه داده‌گیری در سال ۲۰۱۲ بود. قرار بود در پایان ۲۰۱۱ شتابگر اصلی LHC برای آمادگی فنی حرکت به سوی انرژی طراحی شده  $14\text{TeV}$  خاموش شود اما با عملکرد غیرمنتظره و درخشان آن در سال ۲۰۱۰ امید به گرفتن داده در مقیاس بزرگتر (۳ برابر بیش از میزان پیش‌بینی شده) و امکان کشف پدیده‌های نو، کمیته راهبری دستگاه تصمیم به ادامه کار آن در سال ۲۰۱۲ گرفت و مسئله خاموش کردن و آمادگی برای انرژی بالاتر به زمانی دورتر موکول شد. این تصمیم، محققان را امیدوار کرد که در مدت زمان کوتاه‌تری به اهداف علمی خود دست یابند. از طرف دیگر تصمیم گرفته شد که انرژی هر پرتو را به جای  $3.5\text{TeV}$  به  $4\text{TeV}$  برسانند. معمولاً دستگاه از اواسط ماه دسامبر هر سال تا اوایل ماه مارس به منظور انجام امور تعمیر، نگهداری و به‌روزرسانی‌های کوچک روی آن تعطیل می‌شود. بد نیست یادآوری شود که در طول کار دستگاه به دلیل میزان تابش خارق‌العاده اطراف آن حضور نیروی انسانی برای کارهای فنی در حوالی تونل و زیرزمین عملی نیست و تمام این امور در دو ماه خاموشی پرتو صورت می‌گیرد.

دستگاه مانند سال‌های گذشته در ماه مارس ۲۰۱۱ دوباره روشن شد. برنامه مهمی که در پیش بود ازدیاد شدت پرتوها بود که خوشبختانه با موفقیت ادامه یافت و در تاریخ ۲۲ آوریل ۲۰۱۱ میزان برنامه‌ریزی شده

\* پژوهشکده ذرات و شتابگرها.

هیجان زده کرد. سخنگوی آزمایش LHCb که برای مطالعه ترکیبات کوآرک b طراحی شده است می‌گوید «گرفتن داده‌ها با شدتی حدود دو برابر آنچه انتظار می‌رفت دنبال کردن وقایع نادر و عدم تقارن‌هایی را که در واپاشی کوآرک b نهفته است میسر می‌سازد».

در همین راستا، محققان آزمایش LHCb نتایج برخوردها را خیلی زودتر از موعد مقرر منتشر کردند. در ۲۷ ماه اوت یعنی کمتر از ۲ ماه بعد از افزایش شدت در کنفرانس دو سالانه لپتون-فوتون در بمبئی دقیق‌ترین نتایج فیزیک مزون B عرضه شد. این نتایج امکان مطالعه میزان شکست تقارن ماده و پادماده را به ما می‌دهد. شاید راهی برای فهم این عدم تقارن در جهان گشوده شود. نتایج عرضه شده در بمبئی نتایج قبلی را که یک ماه پیش از آن در کنفرانس انجمن فیزیک اروپا در گرنوبل بیان شده بود تأیید کرد که نشان می‌دهد مدل استاندارد ذرات با دقت بسیار بالایی معتبر است. چون مدل استاندارد فرقی بین ماده و پادماده نمی‌گذارد، عدم تقارن ماده و پادماده هنوز سؤالی جدی و پاسخ داده نشده است. نتایج LHCb نافی نتایج ضعیفی بود که چند ماه قبل در تواترن دیده شده بود.

رسم است که نتایج مهم آزمایش‌ها در دو فصل تابستان و زمستان در مجموعه‌ای از کنفرانس‌ها عرضه شوند، یعنی ماه‌های ژوئیه و اوت ماه‌های سخت و در ضمن هیجان‌آوری برای فیزیکدانان ذرات بنیادی است. دست‌اندرکاران آزمایش‌ها هم نتایج مهم و داغ خود را برای این کنفرانس‌ها می‌گذارند. در همین اوان است که اعضای جدید سرن نیز معرفی می‌شوند. امید به یافتن یا رد برخی نظریه‌ها که جمعاً به «فیزیک نو» (new physics) شهرت یافته است پیش از برگزاری کنفرانس‌ها افزایش می‌یابد. کنفرانس گرنوبل در ۲۱ ژوئیه آغاز شد و هر چهار گروه آزمایشی کارهای خود را عرضه کردند. کارها همگی در راستای تحکیم نتایج قبل بود و هیچ فیزیک نویی کشف نشد. سؤالات داغ درباره ذره هیگز و ابرتقارن - ابعاد اضافی و کانال‌های مختلف بررسی آنها هم در این کنفرانس و هم در کنفرانس بعدی در بمبئی بررسی شدند. سؤال داغ درباره وجود هیگز همچنان و علیرغم حجم عظیم داده‌های موجود به داده‌های بسیار دیگر نیاز دارد. چنانکه در زیر خواهیم دید باید تا زمستان صبر می‌کردیم. البته هنوز هم به دنبال دیدن هیگز و فیزیک نو هستیم. امید به دیدن هیگز بسیار افزایش یافته است. در این حین کارهای دیگر در سرن هم پیش می‌رفت یعنی آزمایش‌هایی که بر LHC تکیه ندارند. در اواخر ماه ژوئیه نتایج آزمایش ابر (CLOUD) که اثرهای تابش کیهانی را بر تشکیل ابر و ذرات آئروسول (ذرات ریز جامد یا مایع که در جو زمین تشکیل می‌شوند) بررسی می‌کنند منتشر شدند. توجه خواننده را به این نکته جلب می‌کنیم که این آزمایش از نوع دیگر آزمایش‌های سرن نیست و برای مطالعه مسائل اقلیمی است. این آزمایش نشان داد که یونش ناشی از پرتوهای کیهانی عامل اصلی تولید ذرات آئروسول است. در ارتفاعات بالای جو، اسید سولفوریک و بخار آب موجب تشکیل آئروسول می‌شوند.

نتایج حاصل از آزمایش‌های LHC نشان می‌دهد که ماده تشکیل شده در برخورد هسته‌های سرب صد هزار مرتبه داغ‌تر از مرکز خورشید و چگال‌تر از مرکز ستاره نوترونی است. چنین وضعیتی از ماده خواص خود را دارد. عجیب آنکه این ماده مثل یک سیال ایده‌آل با کمترین مقدار وشکسانی ظهور می‌کند. وضعیت این فاز ماده و آنچه مشاهده شده است چالشی است برای نظریه پردازان. سه آزمایش LHC یعنی ATLAS، Alice، CMS نتایج زیادی درباره موجودات حاصل از واپاشی این ماده که در فضایی به ابعاد چند فرمی (۱ فرمی معادل  $10^{-15}$  متر است) و برای زمان‌هایی در حدود  $10^{-23}$  ثانیه وجود دارد به دست آورده‌اند که کلید فهم خواص این سیال است. گویدو توتلی سخنگوی CMS می‌گوید که «داریم به دورانی از مطالعات بسیار دقیق ماده با برهم‌کنش بسیار قوی و در بالاترین انرژی‌ها پا می‌گذاریم». این حیطه از مطالعات ما را به شناخت رفتارهایی از ماده می‌رساند که تاکنون امکان دستیابی به آنها میسر نبوده است. چالش‌های نظری پدیده‌شناختی و تجربی بسیاری در پیش روی ماست. برخی از این نتایج در ماه مه سال ۲۰۱۱ منتشر شدند هرچند که مربوط به داده‌های اخذ شده در دو هفته پایانی کار دستگاه در سال ۲۰۱۰ بودند.

در ماه ژوئن، نتایج مهمی از آزمایش آلفا که قسمتی از یک برنامه بزرگتر مطالعات پادماده است به دست آمد. در این آزمایش توانستند تعداد زیادی (در حدود  $300$ ) اتم پادهیدروژن را برای مدت هزار ثانیه یعنی کمی بیش از ۱۶ دقیقه نگه دارند (پادهیدروژن از یک پادپروتون در مرکز با بار منفی و یک پادالکترون یا پوزیترون با بار مثبت در اطراف آن تشکیل شده است). این تعداد و این زمان امکان مطالعه خواص پادهیدروژن و مقایسه آن را با هیدروژن به ما می‌دهد. اختلاف این دو دریچه‌ای است برای درک این موضوع که چرا جهان ما تنها از ماده تشکیل شده و نه پادماده. به علاوه اختلاف این دو می‌تواند سوال‌هایی در مورد تقارن‌های جهان مطرح سازد و عمیق‌ترین تفکرات ما در مورد جهان و ماده را تحت تأثیر قرار دهد.

یک ماه بعد یعنی در ژوئیه ۲۰۱۱، در آزمایش دیگری در سرن تحت عنوان ASACUSA جرم پادهیدروژن با دقت بسیار زیادی اندازه‌گیری شد. این دقت قابل مقایسه با دقت اندازه‌گیری جرم هیدروژن است. به گفته یکی از دست‌اندرکاران این آزمایش، دقت حاصل مانند تشخیص وزن پرستویی در اندازه‌گیری وزن برج ایفل است. او قول داد دفعه بعد دقت را به تشخیص وزن یک پرستو برسانند. در ماه مارس سال ۲۰۱۲ اولین نتایج بیناب‌سنجی (طیف‌نگاری) آزمایش آنها به دست آمد.

اتفاق مهم دیگر در ماه ژوئن، دستیابی به قله‌ای از توان داده‌گیری در LHC بود. در ۱۷ ژوئن، سرن طی بیانیه‌ای اعلام کرد که آزمایش‌های ATLAS و CMS دستیابی به یک معکوس فمتو بارن ( $fb^{-1}$ ) داده را اعلام کرده‌اند. این عدد برابر ۷۰ میلیون میلیون یا ۷۰ هزار میلیارد برخورد است. این دستاورد تنها سه ماه پس از شروع مجدد کار دستگاه بوده است. داده زیاد، کلید اصلی دستیابی به نادانسته‌ها و کشف است. افزایش شدید داده‌ها آزمایشگران را در سه آزمایش ATLAS، CMS، و LHCb

سال تحلیل‌های زیادی که می‌توانند دریچه‌ای بر فیزیک نو باشند صورت گرفت. اندازه‌گیری‌های متعددی نیز انجام شد. اکنون که این یادداشت برای چاپ آماده می‌شود هنوز داده‌های سال ۲۰۱۱ در حال تحلیل شدن هستند. خواهیم دید که این تحلیل‌ها امید برای دیدن هیگز را بسیار افزایش داده است. در ۲۰۱۱ نیز به مدت ۴ هفته هسته‌های سرب با یکدیگر برخورد کردند و حجم عظیمی از داده‌ها به دست دادند که دریچه‌ای، و شاید هم دروازه‌ای، به شناخت خواص فاز جدید ماده هسته‌ای یعنی پلاسمای کوارک و گلوئون گشوده است.

در نوامبر مسئله مهم ارتقای LHC مطرح شد. دانشمندان و مهندسان مختلف در کارگاهی دور هم جمع شدند تا ازدیاد درخشندگی پرتوهای LHC را برای سال‌های بعد مطالعه کنند. لازمه این امر دستیابی به تکنولوژی‌های نوینی است که چالشی پیش روی دانشمندان و مهندسان سرن است. برنامه‌ریزی برای آغاز این ارتقا در سال ۲۰۲۰ آغاز شده است.

ماه پایانی سال همراه بود با گزارش مهمی که CMS و ATLAS مشترکاً عرضه کردند. دیدن علامتی از ذره هیگز در هر دو آزمایش شوری در همه افکنده و دو گروه زیر نظر رئیس سرن گزارش مشترکی را فراهم کردند که در آن معلوم شد که اگر هیگز وجود داشته باشد جرم آن با دقت بسیار زیادی طبق اندازه‌گیری آزمایش ATLAS در فاصله ۱۱۶ GeV تا ۱۳۱ و طبق اندازه‌گیری آزمایش CMS در فاصله ۱۱۵ GeV تا ۱۲۶ قرار دارد. به علاوه از داده‌های هر دو گروه چنین برمی‌آید که علامتی که در فاصله ۱۲۴ تا ۱۲۶ برای جرم دیده شده بسیار جدی است ولی تأیید دقیق آن به طوری که از طرف سرن کشف تلقی شود نیاز به داده‌های بیشتری دارد که در سال ۲۰۱۲ تأمین خواهد شد.

تیم ایران در زمینه آزمایش ذرات با CMS و در مورد شتابگر با گروه CLIC که یکی از شتابگرهای آینده را طراحی می‌کند همکاری دارد. در مورد ابرتقارن، فعالیت‌های ذرات در سرن که گروه پژوهشگاه در آن مشارکت مستمر و شایان توجهی دارد در زمینه‌های ابعاد اضافی، ابرتقارن، هیگز باردار (گونه‌ای از هیگز که در نظریات ابرتقارن پیدا می‌شود)، و فیزیک پراش است و نتایج آن در مقالات و گزارش‌های مربوطه به ثبت رسیده است. اولین گزارشی که تمام مسئولیت آن به عهده تیم پژوهشگاه بود در زمینه علامت دولپتونی ابعاد اضافی در سال ۲۰۱۱ عرضه شد. البته این گزارش وجود اثر بعد اضافه را در داده‌ها تا سال ۲۰۱۱ نفی می‌کند.

دستگاه در ۱۶ دسامبر ۲۰۱۱ برای سرویس و تنظیمات به مرخصی سالانه خود رفت تا بار دیگر در مارس ۲۰۱۲ روشن شود و در انرژی ۴ TeV در هر پرتو پروتون تا ماه نوامبر کار کند و در ماه آخر کار آن در ۲۰۱۲، هسته سرب در آن به چرخش درآید. سال ۲۰۱۲ شاهد رویدادهای مهمی مانند تعیین تکلیف ذره هیگز، کشف یا رد ابرتقارن تا این انرژی، ازدیاد دقت در مسئله ابعاد اضافی، مطالعه دقیق مزون‌های B و خواص کوارک t خواهد بود.

آزمایش نشان داد که نرخ تشکیل آنها تحت تابش پرتو کیهانی ده برابر می‌شود. این کشف نقطه عطفی در مطالعات هواشناسی و اقلیم‌شناسی است.

خبر بسیار داغ سال ۲۰۱۱ اعلام نتایج آزمایش OPERA در آشکارساز Gran Sasso در ایتالیا بود که سرعت نوترینوهای تولید شده در LHC را بیش از سرعت نور یافت. این نتیجه در ۲۳ سپتامبر اعلام شد و برای مدتی مقدار زیادی هیجان و مقاله و مدل‌سازی و غیره را به دنبال داشت. هرچند گمان اصلی بسیاری این بود که این مشاهده به نوعی خطاست. چنین امکانی انگیزه تفکرات نوی شد. اکنون روشن شده است که خطای سیستماتیک ناشی از محاسبات GPS در آزمایش OPERA منجر به شبهه زیاد بودن سرعت نوترینوها شده است. لازم است بگوییم که گروه ناچار به ارائه نتایج خود بود حتی با وجود تردید در مورد آنها. شاید هم لازم بود که نتیجه به اطلاع همه برسد تا یک تلاش جمعی و همه‌جانبه منجر به کشف اشکال فنی شود. در ماه سپتامبر حادثه مهم دیگری رخ داد که تحت تأثیر خبر نوترینوهای با سرعت بالاتر از نور، کمتر به آن توجه شد. در ۲۸ سپتامبر ۲۰۱۱ اعلام شد که برنامه ELENA به منظور ساخت دستگاهی برای کند کردن پادهیدروژن آغاز به کار کرده است. ساخت دستگاه در ۲۰۱۳ آغاز می‌شود و امید می‌رود در ۲۰۱۶ به سرانجام برسد. در این دستگاه از سرعت پادپروتون‌ها کاسته می‌شود.

این دستگاه که دقیقاً نقطه مقابل شتابگر است، به صورت حلقه خواهد بود و در نزدیکی دستگاه مشابهی به نام AD (Antiproton Decelerator) نصب خواهد شد. انرژی نهایی پادپروتون در دستگاه جدید در حدود یک پنجاهم انرژی فعلی است که امکان به دام اندازی پادپروتون‌ها را از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر افزایش می‌دهد. این دستگاه قادر به سرویس‌دهی به تعداد زیادی آزمایش در زمینه پادماده خواهد بود.

یکی از فعالیت‌های مهم سرن استفاده از تجربیات به دست آمده در آزمایش‌های فیزیک ذرات و تحول شتابگرها به حیطه‌های زندگی اجتماعی در خارج از دنیای فیزیکدانان محض است. در ۱۳ اکتبر ۲۰۱۱ در یک کارگاه بین‌المللی در زمینه مدیریت انرژی در شهر لوند سوئد متخصصان انرژی و نمایندگان آزمایش‌های بزرگ دور هم جمع شدند تا روش‌های بهتر مدیریت انرژی به ویژه در آزمایش‌های بزرگ را بررسی کنند.

این کنفرانس در محل ESS (European Spallation Source) برگزار شد که در آنجا نوع خاصی از شتابگر را طراحی می‌کنند و می‌سازند.

هر سال در ماه اکتبر شتابگر LHC برای چند روزی خاموش می‌شود و داده‌گیری از برخورد پروتون‌ها پایان می‌پذیرد تا در ماه مارس سال بعد دوباره آغاز به کار کند. پایان کار پرتوهای پروتون همراه با موفقیت زیاد شتابگر و آزمایش‌های سرن یعنی ATLAS، CMS، LHCb، و ALICE بود. نتیجه اصلی برخوردهای پروتون محدود کردن فضای امکانات ذره هیگز، ابرتقارن - ابعاد اضافی، دقت بیشتر پارامترهای مدل استاندارد بود. در این