شکار پرتوهای کیهانی با آرایه‌های رادیویی

پای صحبت دکتر گوهر رستگارزاده عضو هیئت علمی و مسئول آزمایشگاه فیزیک پرتوهای کیهانی دانشگاه سمنان

زهرا باقری
دکترای اخترفیزیک

اشاره

آنچه در پی می‌آید حاصل گفت‌وگویی است با خانم دکتر گوهر رستگارزاده عضو هیئت‌علمی تمام‌وقت و دانشیار دانشگاه دولتی سمنان. ایشان مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای خود را در دانشگاه صنعتی شریف و در رشته فیزیک گرایش نجوم به پایان رسانده است. در مقطع کارشناسی ارشد برروی موضوع لیزر کار کرده و به‌عنوان پروژه آن مقطع، ساخت لیزر CO_2 را به انجام رسانده است، او با آنکه می‌توانست در مقطع دکتری گرایش لیزر را ادامه بدهد؛ و با وجود آنکه در آن زمان، رشته لیزر و اپتیک به لحاظ جذب کاری و درآمد، هم طرفداران و هم وضعیت بسیار مناسبی داشته و دارد، ولی وارد گرایش نجوم شد.

اکنون دکتر رستگارزاده علاوه بر تربیت دانشجویان در دانشگاه سمنان، مسئول آزمایشگاه فیزیک پرتو کیهانی دانشگاه سمنان نیز هستند. ایشان همزمان مجری طرح سورا در دانشگاه سمنان هستند که تأثیر بسیار خوبی در آشکارسازی پرتوهای کیهانی به روش رادیویی دارد. از ایشان خواستیم که اطلاعاتی دربارهٔ این طرح در اختیارمان بگذارند. به‌رغم همزمانی دعوت مجله رشد آموزش فیزیک با دعوت ایشان از سوی رسانه‌های دیگر بسیار مفتخریم که استاد دعوت مجله را پذیرفتند و در گفت‌وگوی ما شرکت کردند.

é با سلام و تشکر از حضورتان در این گفت‌وگو به‌عنوان اولین سؤال؛ چرا و با چه انگیزه‌ای وارد رشته نجوم شدید؟

اینکه چرا من برای مقطع دکتری گرایش نجوم را انتخاب کردم، دلیل این انتخاب شخص استاد **جلال صمیمی** بودند. یعنی تصمیم‌گیری من باتوجه به گرایش نبود و من به رشته نگاه نکردم، به شخصی نگاه کردم که بالاترین علم و توانایی را در دانشگاه صنعتی شریف در رشته خودشان داشتند.

دکتر صمیمی، استاد بزرگ من، آن زمان کسی بودند که منابع ناشناخته اگرت[1] را که چندین سال مشخص نشده بود، با کار پرتوکیهانی تشخیص دادند و زمانی که کار ایشان در مجامع علمی پذیرفته شد و معلوم شد ایشان موضوع را درست تشخیص داده‌اند، نه‌تنها در مجلات، بلکه در روزنامه‌های امریکا نیز این کشف ایشان چاپ شد و من شخصی را به‌عنوان استاد انتخاب کردم که در کارش شهرت جهانی داشت و علم ایشان آن‌قدر بالا بود که من لحظه‌ای درنگ نکردم و تصمیم گرفتم وارد این زمینه کاری شوم و در حال‌حاضر بسیار بسیار خوشحالم و هرچه را که دارم چه شغلی، چه دانش و حتی جسارت علمی که دارم، همه را از ایشان دارم.

é پس در واقع آقای دکتر صمیمی بودند که پرتوکیهانی را در ایران مطرح کردند؟

بله، واقعا ایشان چشم من را به روی نجوم و پرتوکیهانی باز کردند و دیدم که این رشته چه رشته و زمینه مهمی است، که حتی آزمایشگاه سرن[2] امسال مدرسه «دورهٔ تابستانی» پرتوهای کیهانی را در جهت نشان دادن اهمیت این رشته با نام «LHC[3] پرتوکیهانی کاران را ملاقات می‌کند»، برگزار کرد.

پرتوکیهانی یک زمینه مطرح و به‌روز در دنیاست و سرن

چشم امید به این دارد که ما پرتوکیهانی‌کاران بگوییم این منابع پرتوکیهانی چی هستند و کجا هستند و از کجا می‌آیند. البته با زیبایی‌هایی که الان از پرتوهای کیهانی دیده‌ام، اگر زمان به عقب بازگردد و شـــخص استاد صمیمی هم نباشند، باز هم این رشته را انتخاب خواهم کرد. زیرا این رشـــته ما را به یک جایی خیلی بزرگ‌تر از کره‌زمین می‌برد و دانش ما را درباره هستی و خلقت توسعه می‌دهد و به نظر من این خیلی زیبا و باشکوه است.

é پرتوهای کیهانی چگونه با زندگی ما انسان‌ها ارتباط پیدا می‌کنند؟

پرتوهای کیهانی ذرات پرانرژی بارداری هستند که از بیرون جو، کره زمیـــن را بمباران می‌کنند. اگر تأثیر جو زمین نبود یعنـــی اگر جو زمین نبود و این پرتوها مســـتقیماً وارد زمین می‌شـــدند، به دلیل انرژی زیادشان حیات بر روی کره زمین ممکـــن نبود. ولی خوشـــبختانه جو کره زمیـــن ذرات اولیه پرتوکیهانی را به تعداد بســـیار زیادی ذرات کم انرژی ثانویه خرد می‌کند و همان‌طور که در شـــکل ۱ دیده می‌شـــود ما پیوســـته تحت بارش این پرتوها هســـتیم و این ذرات ما را بمباران می‌کنند. این ذرات اگرچه تعدادشـــان زیاد است، اما کم‌انرژی هســـتند و به همین علت تاکنون گزارشـــی دربارهٔ آســـیب این ذرات برای انســـان‌ها نداشته‌ایم، ولی با همه این مسائل مطالعه این ذرات ثانویه اهمیت بسیار بالایی دارد.

▲ شکل ۱. بارش پرتوهای کیهانی

é اهمیت پرتوهای کیهانی درچیست؟

اول اینکه انرژی آن‌ها بیشـــترین انرژی است که بشر تا الان توانسته تصور کند و بشناسد و با بزرگ‌ترین شتاب‌دهنده‌های زمینی (مثل شتاب‌دهنده سرن) و صرف میلیون‌ها دلار پول نیز ممکن نیســـت بتوان برروی زمین به این انرژی‌ها دست یافت و به این‌ها اصطلاحاً می‌گویند شـــتاب‌دهنده‌های الهی. یعنـــی ذرات پرانرژی که خداوند بدون هیچ هزینه‌ای برای ما به زمین فرستاده است.

دوم آنکه منابع پرتوهای کیهانی پرانرژی هنوز شناخته نشده اســـت. یعنی ما به‌طور دقیق نمی‌دانیـــم که چه منابعی در آن طرف جو زمین ایـــن ذرات را تولید می‌کنند و به همین دلیل دانشمندان عقیده دارند اگر روزی این منابع شناخته شوند، با شناختن آن منابع ما به ســـازوکارها و روش‌هایی که ذرات به این انرژی‌های زیاد می‌رسند دست پیدا می‌کنیم. دانشمندان عقیده دارند در این صورت ما حوزه جدیدی از فیزیک را کشف می‌کنیم. مانند وقتی که توانســـتیم سرعت را افزایش دهیم و از حوزه مکانیک کلاســـیک به حوزه نسبیت اینشتین برسیم، دانشمندان اعتقاد دارند اگر ما منابع این ذرات را کشف کنیم، در واقع حوزه جدیدی در فیزیک پیدا خواهیم کرد که شـــاید اصلاً فیزیک خاص خودش را به علم معرفی کند.

é طرح سورا چیست؟ لطفاً کمی بیشتر توضیح دهید؟

آرایـــه رادیویـــی SURA[۴] (آرایه‌رادیویی‌دانشگاه‌ســـمنان) به‌عنوان اولین آرایه از این نوع در خاورمیانه متشکل از ۸ آنتن LPDA[۵] در دانشکده فیزیک دانشگاه سمنان در شهر سمنان و در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی و ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه شـــرقی در ارتفاع ۱۱۳۵ متر بالای سطح دریا مطابق با عمق ۲۸۷۵g/cm[۲] در روی بام دانشکده فیزیک نصب شده است و در فاز اول این آرایه در یک چیدمان مربعی به ابعاد ۴۰ در ۴۰ متر قرار گرفته است.

با توجـــه به نوفه محیطی محـــل فعلی، این آرایـــه قادر به آشکارســـازی پرتوهـــای کیهانی بـــا انرژی‌هـــای 10^{17} eV و بالاترخواهد بود. در حال‌حاضر این آرایه به‌صورت خود راه‌انداز[۶] کار می‌کند اما در آینده نزدیک با اضافه شـــدن سه آشکارساز ذرات به‌عنوان راه‌انداز خارجی[۷] کار خود را ادامه خواهد داد. آرایه در حال‌حاضر از یک پنل خورشیدی جهت تأمین برق مورد نیاز خود اســـتفاده می‌کند. در فازهای بعدی آرایه به پایگاه دائمی خود در مکانی بـــه‌دور از نوفه‌های محیطی انتقال پیدا خواهد کرد و انتظار می‌رود با کاهش نوفه محیط آشکارسازی پرتوهای کیهانی با انرژی‌های کمتر نیز امکان‌پذیر شود. البته خوانندگان علاقه‌مند برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توانند به پایگاه اینترنتی sura.semnan.ac.ir مراجعه کنند.

é شـــما در دانشگاه و پایگاه سورا در این زمینه مشغول چه کاری هستید؟

ما در واقع می‌خواهیم این ذرات کیهانی پرانرژی را بشناسیم. ببینیم انرژی‌شان چقدر است و جنسشان چیست. آیا این ذرات از جنس پروتون هستند یا از جنس هسته‌های دیگر، و بفهمیم شارشان (یعنی تعداد آن‌ها در واحد زمان در واحد سطح که این ذرات دارند با آن کره‌زمین را بمباران می‌کنند) چقدر اســـت و مهم‌تـــر از همه منابع این ذرات را پیدا کنیم. برای پاســـخ دادن به این پرسش‌ها دانشمندان آزمایش‌هایی را طراحی می‌کنند. بعضی از این آزمایش‌ها و آشکارســـازها بر روی ماهواره‌هایی که به بیرون از جو می‌روند ســـوار می‌شوند ولی بعضی از آزمایش‌ها و آشکارســـازی‌ها برروی زمین انجام می‌شوند زیرا ماهواره‌هایی که به بیرون جو زمین فرســـتاده می‌شوند فقط قادرند پرتوهای کیهانی کم‌انرژی بیرون جو را آشکارسازی کنند، در حالی‌که ما برای پرتوهای پرانرژی احتیاج به آشکارسازهای زمینی داریم. این آشکارسازهای زمینی انواع و اقسام مختلفی دارند و ویژگی‌های

پرتوهای کیهانی انرژی بیشترین انرژی است که بشر تا الان توانسته تصور کند و بشناسد و با بزرگ‌ترین شتاب‌دهنده‌های زمینی (مثل شتاب‌دهنده سرن و صرف میلیون‌ها دلار پول) نیز ممکن نیست بتوان بر روی زمین به این انرژی‌ها دست یافت

متفاوتی دارند. از جمله اینکه ما خودمان ذرات ثانویه (ذراتی که در شکل ۱ می‌بینید) را آشکارسازی کنیم. یک راه دیگر این است که نور فلوئورسان حاصل از این ذرات را آشکارسازی کنیم. یک راه دیگر این است که نور چرنکوف ناشی از پرتوهای کیهانی را آشکارسازی کنیم. و راه دیگر که کار خاص ما است این است که امواج رادیویی که به همراه این ذرات می‌آید را آشکارسازی کنیم. از آنجایی که این ذرات ثانویه باردار و دارای بار الکتریکی هستند و خنثی نیستند و زمین دارای میدان مغناطیسی است و می‌دانیم ذره باردار وقتی داخل میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، شروع به حرکت در روی یک مسیر دایروی می‌کند و در نتیجه یک حرکت شتابدار دارد (هرچند سرعتش تغییر نمی‌کند ولی به‌خاطر چرخش دایروی حرکتش، شتابدار است) و الکترودینامیک پیش‌بینی می‌کند هر ذره بارداری که شتابدار باشد، حتماً تابش می‌کند. حالا به دلیل انرژی این ذرات ثانویه و به دلیل اندازه میدان مغناطیسی زمین، این تابشی که این ذرات باردار در میدان مغناطیسی می‌کنند، در ناحیه رادیویی است. و اگر ما بتوانیم امواج رادیویی وابسته به این ذرات را آشکارسازی کنیم، در واقع انگار خود آن‌ها را آشکارسازی کرده‌ایم. در ایران، در دانشگاه صنعتی‌شریف با داشتن چندین آرایه آشکارساز ذرات در آزمایش البرز، از طریق ذرات اندازه‌گیری پرتو کیهانی را انجام می‌دهند. ولی آشکارسازی ذرات به لحاظ تجهیزات بسیار گران‌قیمت است، ولی برعکس تجهیزات رادیویی در کشور ما بسیار ارزان هستند و در دسترس‌اند. دانش ما در این‌باره هم بالاتر است. به دلیل استفاده از تلفن همراه و ماهواره و تلفن و تجهیزات این‌چنینی دانش رادیویی ما بالاتر از دانش هسته‌ای ما است. ضمن اینکه آشکارساز ذرات، به کار هسته‌ای باز می‌گردد و حساسیت‌های خودش را به‌خصوص الان به خاطر شرایط خاص کشور دارد و وقتی تعداد آشکارساز کم باشد، اطلاعات بسیار کمی به‌دست می‌آوریم. هرچه تعداد آشکارسازها بیشتر باشد، تفکیک زاویه‌ای این آرایه‌ها برای مشخص کردن منبع بهتر خواهد بود. برای همین بود که من به کار رادیویی روی آوردم. در این کار ما در حال حاضر ۱۵ آشکارساز رادیویی داریم که فقط برای ۸ تا از آن‌ها، الکترونیک‌اش را داریم. در واقع ۱۵ تا آنتن داریم ولی برای ۷ تا از آنتن‌ها هنوز الکترونیک نداریم. یعنی در آرایه رادیویی سورا با ۸ آنتن کار می‌کنیم.

چهار آنتن از نوع LPDA و یازده آنتن از نوع دوقطبی است. ولی از چهار آنتن از هر نوع استفاده می‌کنیم. چون گفتیم هشت تا الکترونیک داریم. نوفه محیطی را سعی کردیم حذف کنیم. الکترونیک و تجهیزات الکترونیک به جز آنتن، یک برد ADC هست که این برد در واقع سیگنال رادیویی را می‌گیرد و تبدیل به دیجیتال می‌کند. بعد از آن بردی به نام FPGA قرار دارد.

به جای یونیت‌های الکترونیکی که در آرایه‌های ذرات به کار می‌رود که تپ‌ها را همزمان می‌کنند، اینجا با برنامه‌نویسی سخت‌افزاری این برد را گذاشتیم که برد نسبتاً ارزانی است. برنامه‌نویسی سخت‌افزاری به زبان VHDL روی آن انجام می‌شود

é بفرمایید این FPGA چه‌کاری قرار است انجام دهد؟

در دسترس بودن و قیمت پایین قضیه اینجاست. به جای یونیت‌های الکترونیکی که در آرایه‌های ذرات به کار می‌رود که تپ‌ها را همزمان می‌کنند، اینجا با برنامه‌نویسی سخت‌افزاری این برد را گذاشتیم که برد نسبتاً ارزانی است. برنامه‌نویسی سخت‌افزاری به زبان VHDL روی این انجام می‌شود و اجازه انجام هر کاری به ما می‌دهد. می‌توانیم بگوییم آنجا در آرایه‌های ذرات یک دستگاه الکترونیکی برای تمیز دادن قرار داده‌اند، در اینجا ما با برنامه‌نویسی این فرمان را می‌دهیم. روی آن تپی که وارد شده، فرمان می‌دهیم اگر به این میزان بود کنار بگذار و اگر بالای این بود بپذیر. زمانی می‌توانیم بگوییم تپ‌های ثانویه آشکارسازهای مختلف درون یک آرایه، مربوط به یک پرتو کیهانی هستند که تپ‌های ورودی به این آشکارسازها، در کسر کوچکی از ثانیه همزمان باشند. یعنی اگر ۱۰ تا آشکارساز داشته باشیم، اگر آشکارساز شماره ۱ الان یک تپ فرستاد، و آشکارساز دیگر یک دقیقه بعد، این تپ‌ها مربوط به پرتوکیهانی نیستند. چرا؟ چون پرتوکیهانی در عرض ۲۰ تا ۱۰۰ نانوثانیه می‌آید و تمام می‌شود. به جای یونیت‌های الکترونیکی که در آرایه‌های ذرات به کار می‌رود و تپ‌ها را همزمان می‌کنند و شرط‌های راه‌اندازی را اعمال می‌کنند، در کار ما همزمانی و شرط‌های لازم دیگر با برنامه‌نویسی سخت‌افزاری به زبان VHDL بر روی این برد انجام می‌شود. این برد نسبتاً ارزان است. در نتیجه می‌توانیم تعداد بیشتری آشکارساز داشته باشیم. می‌توانیم بگوییم آنجا در یک آرایه‌های ذرات تعداد زیادی دستگاه الکترونیکی گران‌قیمت کار برقراری شروط راه‌اندازی را انجام می‌دهند و در کارما با برنامه‌نویسی روی FPGA این فرمان داده می‌شود.

▲ شکل ۲. آنتن‌های نصب شده روی بام

آیا با دانشگاه‌های دیگر نیز برای این کار همکاری دارید؟

امیدواریم در آینده داده‌های خود را با رصدخانه پرتو کیهانی البرز در دانشگاه صنعتی شریف به اشتراک بگذاریم. در ضمن با دانشکده مهندسی برق و الکترونیک دانشگاه سمنان همکاری داریم، جناب آقای دکتر مقدادی از این دانشکده در کنار ما هستند و در قسمت الکترونیک به ما کمک می‌کنند و دانشجویان دکتری فیزیک را آموزش می‌دهند.

فکر می‌کنید نتیجه کار کی معلوم خواهد شد؟

خوشبختانه دانش رادیویی در کشور ما وجود دارد و ساده است و ما در حال ثبت اطلاعات هستیم و هنوز کاندیدای پرتوکیهانی داریم. چون ما یک سری آزمایش‌ها باید انجام دهیم تا مطمئن شویم و با دقت بگوییم پرتو کیهانی هستند. هنوز باید داده به اندازه کافی جمع‌آوری کنیم. یک سری شواهد اخترفیزیکی را کنار این داده‌ها بگذاریم که بتوانیم با قطعیت بگوییم که این‌ها در واقع پرتوکیهانی هستند یا خیر. ما الان تا این مرحله جلو رفته‌ایم.

در کدام قسمت از دانشگاه تجهیزات این رصدخانه برپا شده است؟

در حال حاضر از امکانات دانشکده فیزیک استفاده می‌کنیم. ولی در جست‌وجوی یک پایگاه بزرگ‌تر برای گسترش کار هستیم.

از چه نرم‌افزاری استفاده می‌کنید؟

آنتن LPDA داریم و نرم‌افزار شبیه‌سازی از CoREAS استفاده می‌کنیم.

ترافیک رادیویی را به چه صورت حذف کردید؟

امواج رادیویی پرتو کیهانی بین ۳۰ تا ۸۰ مگاهرتز هستند. بیشتر از این مقدار هم هستند ولی بیشترین شدت در این فاصله است. در مطالعات نوفه که ما انجام دادیم، دیدیم که در واقع بین ۵۵ تا ۸۰ مگاهرتز ما نوفه‌های رادیویی خیلی زیادی مربوط به دستگاه‌های فرستنده، پست‌های برق، بی‌سیم‌های نظامی و... داریم. این باند را با همان فیلتر دیجیتالی حذف کردیم. یعنی الان با استفاده از همان برنامه VHDL سخت‌افزاری روی FPGA تمام نوفه‌های ثابت (سیگنال پرتوکیهانی ثابت نیست، یک آبشار ذره‌ای وارد می‌شود و بعد نیست) را حذف کرده‌ایم.

نوار بسامدمان را بردیم جایی که نوفه‌ها نبودند یعنی ۳۰ تا ۵۰ مگاهرتز. چون نوارهای رادیویی و تلویزیونی و... مکانش مشخص است. در قسمتی هم که نوارمان بود یک مقدار نوفه‌های رادیویی بود، آن‌ها را با برنامه‌نویس حذف کردیم. چون ثابت و دائمی بودند و شناسایی می‌شدند. ما الان حدود ۱ سال است که داریم روی نوفه کار می‌کنیم و در واقع آن‌ها را حذف کردیم و الان سیگنال‌های رادیویی ۱۰۱۷ الکترون ولت را وقتی شبیه‌سازی می‌کنیم به ما می‌گوید سیگنال حدود ۱میکرو ولت است، در حالی که ما الان نوفه‌مان زیر این مقدار است و سینگال پرتو کیهانی ما بالای این مقدار قرار گرفته است.

ممنون از اینکه به تمام پرسش‌های ما پاسخ دادید؛ در پایان اگر صحبت و توصیه‌ای دارید بفرمایید.

من هم از شما و مجلهٔ خوبتان که زمینهٔ این گفت‌وگو را مهیا کردند بسیار سپاسگزارم. من آموزش‌وپرورش و دبیران را مهم‌ترین مخاطبی می‌دانم که باید این دانش را به آن‌ها انتقال بدهم و آن‌ها این دانش را بیاموزند و بچه‌های ما را علاقه‌مند کنند و ان‌شاءالله دانشجوهای آینده‌ای که سایت SURA را در ایران بعد از من اداره می‌کنند، از دل بچه‌هایی بیرون بیایند که علاقه‌شان از همین دانشی باشد که معلمان از طریق این مجله به دانش‌آموزان خود منتقل می‌کنند. خیلی برای من مهم است دانشجویان آینده دکتری و هم‌چنین هیئت علمی‌ای که این پایگاه را که امروز پایه‌گذاری شده، در آینده اداره کنند و از طریق همین انتقال دانش باشد.

در ضمن در پایان وظیفه خود می‌دانم از ریاست محترم دانشگاه، جناب آقای دکتر نصیری و معاونت محترم پژوهشی جناب آقای دکتر سعدالدین و هم چنین جناب آقای دکتر قلی‌پور ریاست محترم دانشکده فیزیک دانشگاه سمنان که نهایت همکاری را در اختصاص بودجه جهت خرید تجهیزات رادیویی انجام دادند، سپاسگزاری کنم و امیدوارم شاهد پیشرفت‌های خوبی در این زمینه در ایران باشیم.

آموزش‌وپرورش و دبیران را مهم‌ترین مخاطبانی می‌دانم که باید این دانش را به آن‌ها انتقال بدهم و آن‌ها این دانش را بیاموزند و بچه‌های ما را علاقه‌مند کنند و ان‌شاءالله دانشجوهای آینده‌ای که سایت سورا را در ایران بعد از من اداره می‌کنند، از طریق همین انتقال دانش باشند

▲ شکل ۳. پنل خورشیدی و الکترونیک دستگاه

پی‌نوشت‌ها

1. EGERT: Energetic Gamma Ray Experiment Telescope
2. CERN: The Europe Organization for Nuclear Research
3. LHC: Large Hadron Collider
4. Semnan University Radio Array
5. Log Periodic Dipole Antenna
6. Self-Trigger
7. ExternalTrigger