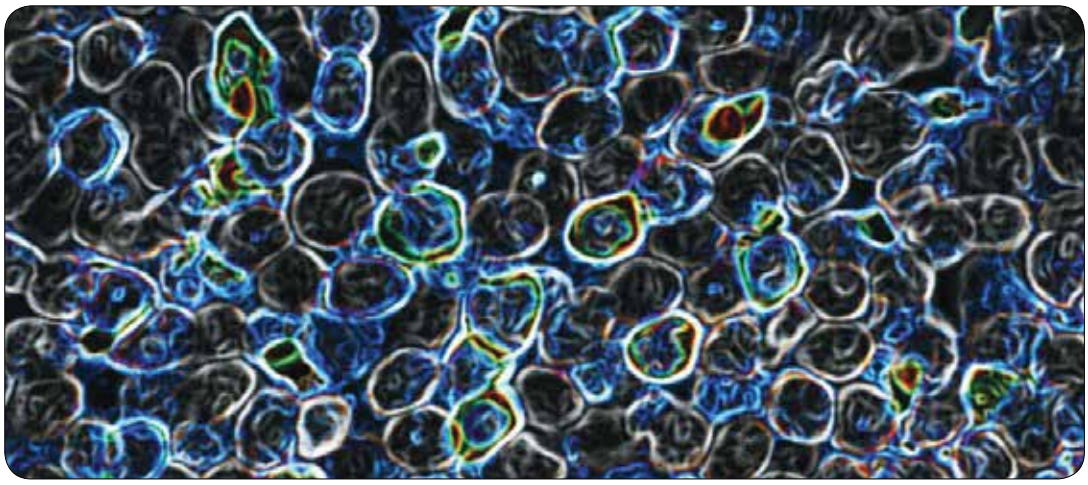
تازه‌های جهان فیزیک

علی رادپی
احمدرضا اعرابی

۱. نانوحسگرهای فروسرخ (IR) به موش‌های نابینا کمک می‌کنند تا ببینند



آیا می‌دانید که مارها، حتی در تاریکی مطلق، می‌توانند با دقت طعمهٔ خون‌گرم کوچکی را از فاصلهٔ یک متری حس و آن را شکار کنند؟ مارها، و البته تعداد دیگری از جانوران، می‌توانند در نور فروسرخ ببینند، اما نه با چشمانشان. این جانوران دارای یک جفت اندام حسی تخصصی به نام اندام‌های گودال هستند که بین چشم و بینی آن‌ها قرار دارد و دارای یاخته‌های عصبی سرشار از پروتئین‌های حساس به دماست. این اندام حسی باعث گرم شدن نورون‌ها هنگام دیدن می‌شوند. سپس تصاویر گرمایی با تصاویر دیداری در مغز مار قرار می‌گیرند.

نورون‌های پاسخ‌دهندهٔ گرما مختص مارها نیستند، بلکه خود ما نیز آن‌ها را در بیش از هر سانتی‌متر از پوست خود داریم تا اشیاء را لمس کنیم یا با زبان خود تندی غذا را حس کنیم.

با الهام از این حس مارها، داشا نلیپدووا و همکارانش در مرکز چشم‌پزشکی و کلینیکی، در بازل سوئیس، در حال ایجاد یک درمان جدید برای اَشکال نابینایی مربوط به گیرنده‌های شبکیه هستند. با پروتئین‌های

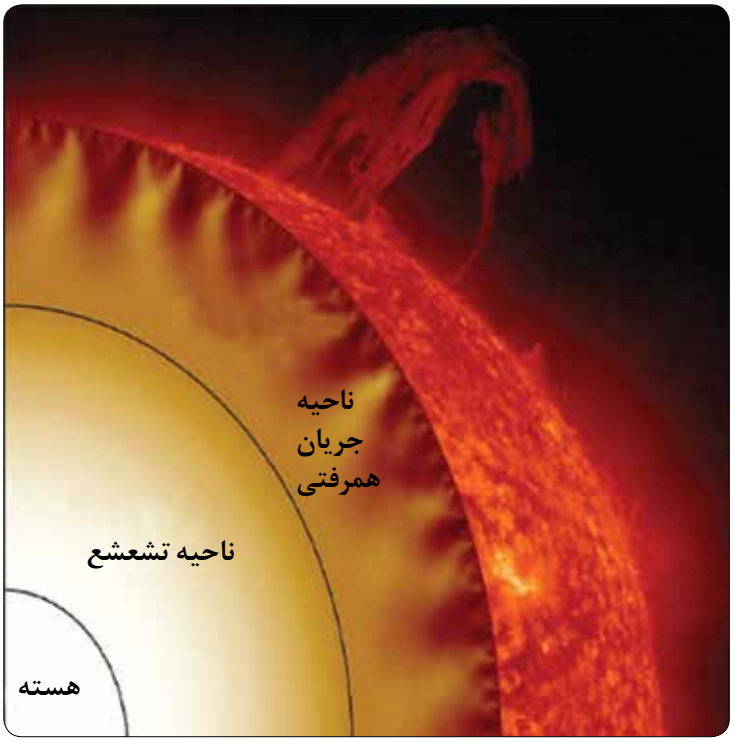
گرماسنجی، از این طریق حساسیت به نورِ از دست رفتهٔ خود را با حساسیت به گرما جبران می‌کنند. پروتئین‌ها به خودی خود به اندازهٔ کافی حساس نیستند تا با بینایی طبیعی روبه‌رو شوند، بنابراین محققان آن‌ها را به ذرات نانو طلا متصل می‌کنند.

نانورود چیست؟

یک نانورود طلایی برای تولید گرما نور ۹۱۵ نانومتر را به شدت جذب می‌کند و پروتئین حساس به دما هنگام گرم شدن تپ الکتریکی ایجاد می‌کند. هنگامی که پروتئین در غشای یاخته شبکیه جاسازی می‌شود و از طریق برچسب پروتئین و پادتن مربوط به نانوذرات مرتبط می‌شود، شبکیه نسبت به نور نزدیک به فروسرخ که اکثر حیوانات به طور عادی نمی‌توانند آن را ببینند، حساس می‌شوند.

این پژوهشگران تاکنون ترکیب پروتئین و نانوذره را روی موش‌های نابینا و شبکیه‌های اهدا شدهٔ انسانی پس از مرگ مورد آزمایش قرار داده‌اند و نتایج امیدوارکننده‌ای به دست آورده‌اند: موش‌ها می‌توانند یک واکنش رفتاری به فلاش نور نزدیک فروسرخ را یاد بگیرند، و شبکیه‌های انسانی تپ الکتریکی قابل ردیابی تولید کنند. اما مدتی طول می‌کشد تا این روند به یک درمان مطمئن و مؤثر برای انسان‌های زنده تبدیل شود.

۲. مشاهدهٔ هستهٔ خورشید



خورشید یک تجربهٔ بدون جایگزین در زندگی ما انسان‌هاست. همین ستاره است که سیارهٔ ما را قابل سکونت می‌کند و منشأ اصلی آخرین وعدهٔ غذایی شماست. با وجود این هنوز دقیقاً نمی‌دانیم که خورشید چگونه کار می‌کند؟

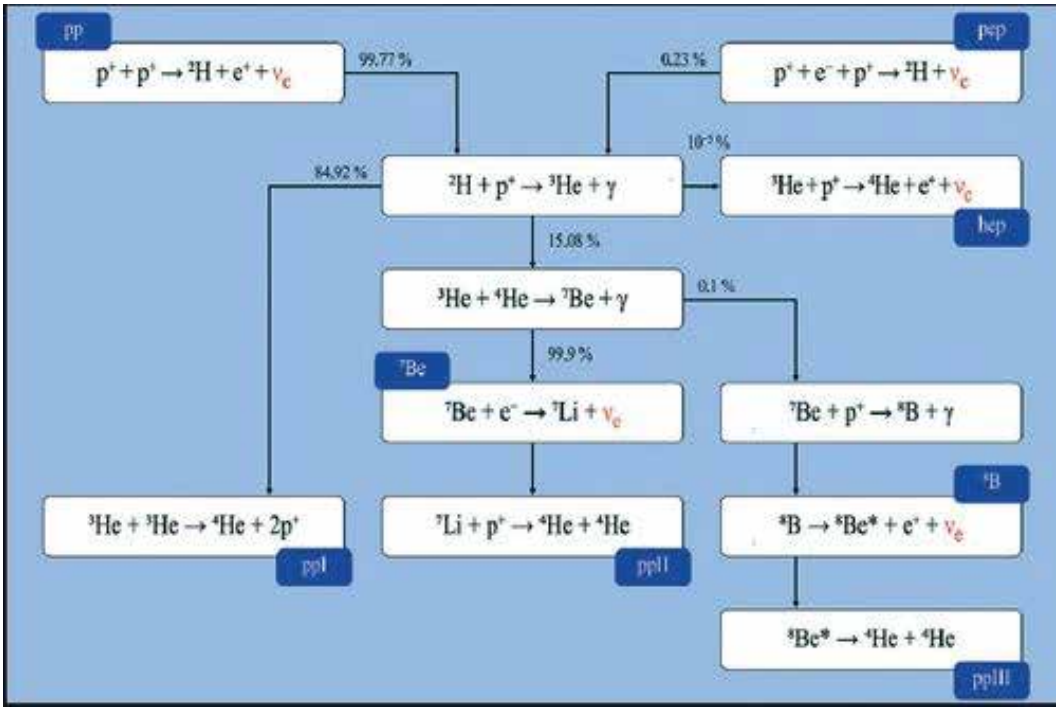
طی یک قرن اخیر ستاره‌شناسان با مشاهدهٔ لایه‌های بیرونی خورشید چیزهای زیادی در مورد آن یاد گرفته‌اند که این امر خود منجر به پیشرفت قابل توجهی در تصور فرایندهای قدرتمند آن شده است. اندازه‌گیری‌های هیجان‌انگیز اخیر ذرات زیراتمی، موسوم به نوترینو، اولین دیدگاه دقیق ما دربارهٔ فرایندهای هسته‌ای غالب درون هسته را به ما داده است. این مشاهدات چشم‌انداز هیجان‌انگیزی از پدیدهٔ تولید انرژی خورشید برای ما فراهم کرده است.

خورشید یک گلولهٔ بزرگ از پلاسما است که دمای سطح آن به حدود ۵۸۰۰ کلوین می‌رسد و از طریق همجوشی هسته‌ای به حیات خود ادامه می‌دهد. به دلیل فشار فوق‌العاده زیاد، همجوشی‌ای در مرکز خورشید رخ می‌دهد که دمای آن به حدود ۱۳ میلیون کلوین می‌رسد.

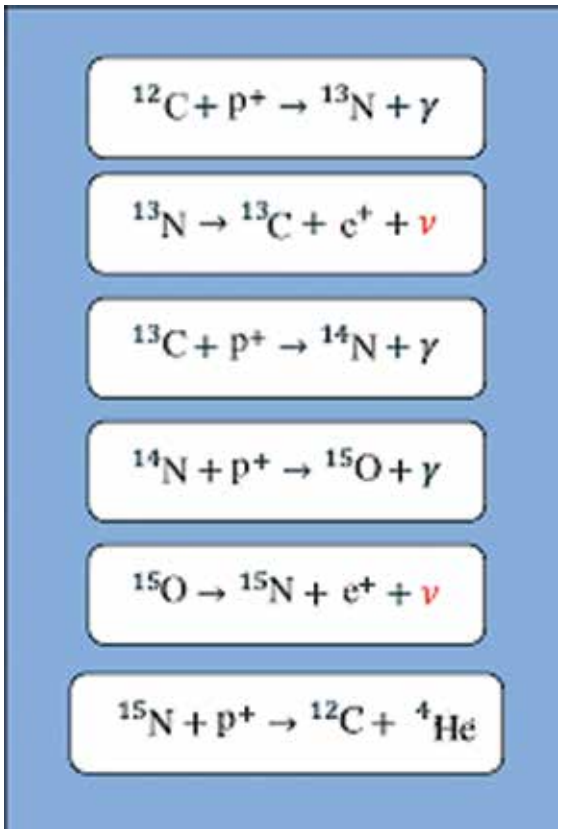
در اطراف هستهٔ خورشید، منطقهٔ تابش قرار دارد که تا حدود ۷۰٪ شعاع این ستاره گسترش می‌یابد.

فوتون‌های هسته از منطقهٔ تابش عبور می‌کنند و مدت زمان زیادی طول می‌کشد تا از خورشید عبور کند. برآورد مقدار زمان لازم برای این عبور از این گذرگاه به پارامترهایی، از جمله چگالی شعاعی خورشید، وابسته است و می‌تواند از ۱۰ هزار تا یک میلیون سال باشد. مدت زمان ذکر شده در اینجا برآورد مدت زمانی است که انرژی از هسته به سطح جریان می‌یابد. خارج از منطقهٔ تابش، منطقهٔ همرفت است. فوتون‌ها به پلاسمای ناحیهٔ همرفت وارد می‌شوند و همچنان مانند ناحیهٔ تابش منتشر و پراکنده می‌شوند. با این حال، ماده در منطقهٔ همرفت متحرک است. فوتون‌های پراکنده همراه با ماده بالا می‌روند تا به سطح خورشید برسند. سپس از خورشید فرار می‌کنند و به طرف زمین می‌آیند تا حدود هشت دقیقه بعد شما را در ساحل گرم کنند! طول موج متداول‌ترین نوری که از خورشید به زمین برخورد می‌کند حدود ۵۰۰ نانومتر است. رنگ این نور سبز فیروزه‌ای یا سبز روشن است. و این می‌تواند با طول موج گسیل‌شده در واکنش‌های همجوشی که انرژی خورشید را تأمین می‌کنند در تضاد باشد. فوتون‌های همجوشی، پرتوهای گاما هستند، با انرژی حدود یک میلیون الکترون ولت و طول موج کسری از یک نانومتر. این بدان معنی است که ستاره‌شناسان هرگز به طور مستقیم روند همجوشی هسته‌ای خورشیدی را مشاهده نکرده‌اند، بلکه درک آن‌ها ناشی از این پدیدهٔ امتزاج «اندازه‌گیری آزمایشگاهی فرایندهای فیزیک هسته‌ای» با «مدل‌سازی گستردهٔ رایانه‌ای» است.

با این حال، روشی نیز وجود دارد که به محققان اجازه می‌دهد دریچهٔ مستقیمی بر روی فرایندهای نیرومند خورشید داشته باشند. دانشمندان نوترینوی گسیل شده در حین همجوشی هسته‌ای را در هستهٔ خورشید کشف می‌کنند. نوترینوها از طریق نیروی هسته‌ای ضعیف برهم‌کنش می‌کنند و بنابراین بدون برهم‌کنش با پلاسمای خورشید از خورشید فرار می‌کنند. این دانشمندان نوترینوهایی را مشاهده می‌کنند که برخلاف تابش گاما که ده‌ها یا صدها هزار سال طول می‌کشد تا به سطح خورشید برسد، فقط هشت دقیقه قبل از مشاهده ایجاد شده است. نوترینوهای تولید شده در مرکز خورشید از فرایندهایی به‌صورت شکل زیر ایجاد می‌شوند. انتشار نوترینو با رنگ قرمز مشخص شده است.



در حالی که این فرایندهای غالب در هستهٔ خورشید اتفاق می‌افتد، اما فقط این فرایندها باعث ایجاد نوترینو نمی‌شوند. همجوشی هسته‌ای شامل تمام عناصر تا آهن است که باعث آزاد شدن انرژی می‌شوند. Iron-56 سنگین‌ترین عنصری است که می‌توان در هستهٔ یک ستاره تولید کرد، و عناصر سنگین‌تر فقط در فرایندهای شدید ستاره‌ای ساخته می‌شوند، فرایندهایی مثل ابرنواخترها، برخورد ستاره‌های نوترونی و سایر آتش‌بازی‌های کیهانی.



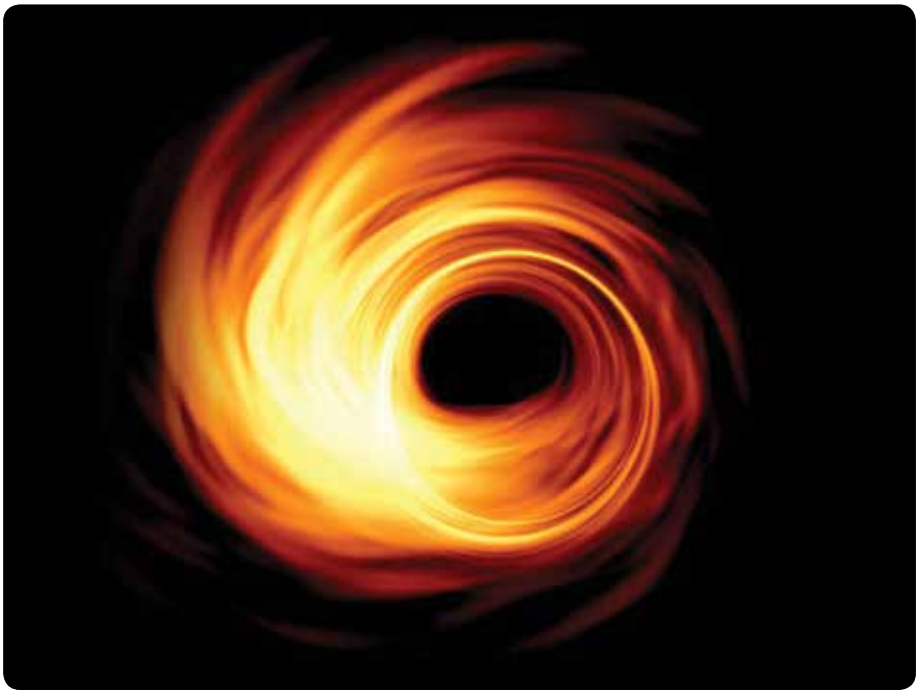
همجوشی هسته‌ای یک فرایند غالب در خورشید است که طی آن هسته‌های هیدروژن، با استفاده از عناصر سنگین‌تر به‌عنوان کاتالیزور، به هسته هلیوم تبدیل می‌شود. فرایندهای هسته‌ای بی‌شماری در خورشید رخ می‌دهد که برخی از آن‌ها نوترینو ساطع می‌کنند. انتشار نوترینو با رنگ قرمز مشخص شده است.

اولین تلاش برای کشف نوترینوهای خورشیدی در سال ۱۹۶۷ با آزمایش هوشمندانهٔ ریموند دیویس، شیمی‌دان آمریکایی، انجام گرفت. دیویس در آزمایش‌هایش با اطمینان حدود یک‌سوم از نوترینوهای پیش‌بینی‌شده توسط فرایندهای بالا را تشخیص داد. این کسر، یعنی یک‌سوم، برای چندین دهه یک معما بود، اگرچه مدت‌ها بود که جامعه علمی گمان می‌کرد که این امر مربوط به پدیده‌ای به نام نوسان نوترینو باشد. این فرضیه توسط مجموعه‌ای از آزمایش‌های انجام‌شده بین سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ به‌طور قطعی تأیید شد.

نوسان نوترینو زمانی اتفاق می‌افتد که نوترینوها هویت خود را تغییر دهند. سه نوع نوترینو به نام‌های الکترون، میون و تاو وجود دارد. نوترینوهای خورشیدی همگی نوترینوهایی از نوع الکترون هستند که در رسیدن به زمین، دو سوم آن‌ها به انواع دیگر نوترینو تغییر یافتند.

دیویس توانست با اندازه‌گیری تصحیح‌شدهٔ خود شار نوترینوهای خورشیدی را که از خورشید می‌رسند به‌طور دقیق تعیین کند. آزمایش‌های دهه ۱۹۹۰، وجود نوسانات نوترینو را ثابت کرد. در سال ۲۰۱۴، در آزمایش بورکسینو برای اولین بار نوترینو حاصل از یک سری فرایند در خورشید کشف شد. بورکسینو در آزمایشگاه گرن ساسو واقع در کوهستان آپنین ایتالیا واقع شده است. وقتی نوترینوهای انرژی زیر MeV در رديف تعامل می‌کنند، نور تابش می‌کنند. در چند آزمایش قبلی نوترینوهای خورشیدی کم‌انرژی مشاهده شده بود، اما بدون توانایی تشخیص فرایندهای خاص نوترینو، بورکسینو و آزمایش‌های دیگر درک ما از خورشید را ادامه خواهد داد. عصر نجوم نوترینوی خورشیدی فرا رسیده است.

۳. سیاه‌چاله‌ها از رؤیا تا واقعیت



در نتیجهٔ مطالعات و اکتشافات یک قرن گذشته، وجود این اجرام کیهانی نامرئی غیرقابل تردید شده است. کمتر از دو ماه پس از انتشار نظریه نسبیت عمومی اینشتین، کارل شوارتزشیلد، از این نظریه برای توصیف زمان- فضای یک تودهٔ کروی غیرمتحرک مانند یک ستارهٔ ثابت یا سیاره استفاده کرد؛ یعنی سیاه‌چاله‌ها. این دانشمند متأسفانه فقط ۴۲ سال داشت که در ماه مه ۱۹۱۶ درگذشت. اما تلاش‌های وی برای یک قرن ادامه داشت و در نهایت منجر به جایزهٔ نوبل فیزیک ۲۰۲۰ شد.

جایزهٔ نوبل فیزیک ۲۰۲۰ به سه نفر، یکی راجر پنروز، فیزیک‌دان ریاضی، به دلیل کشف اینکه تشکیل سیاه‌چاله پیش‌بینی قوی نظریهٔ عمومی نسبیت است، و به دو دانشمند دیگر اخترفیزیک، آندره گز و رینهارد گنزل، برای کشف یک جرم فشردهٔ فوق‌العاده در مرکز کهکشان اهدا شد. این اولین نوبلی است که منحصراً برای سیاه‌چاله‌ها اعطا شده است. این در حالی است که برای دهه‌ها مفهوم سیاه‌چاله‌ها یک انحراف ریاضی بیش تلقی نمی‌شد. در سال‌های پس از ۱۹۱۶، راه‌حل شوارتزشیلد باعث ایجاد علاقه و توجه در میان ریاضی‌دانان و فیزیک‌دانان شد. شیلد «شعاع شوارتزیلد» را پیش‌بینی کرد. شعاعی که نشان می‌دهد یک جسم چقدر باید فشرده باشد. تا از فرار پرتو نور جلوگیری کند. به‌عنوان مثال، شعاع خورشید تقریباً ۷۰۰۰۰۰ کیلومتر است، اما شعاع شوارتزشیلد آن تنها سه کیلومتر است. بنابراین چه اتفاقی می‌افتد که شعاع جسم برابر با شعاع شوارتزشیلد آن باشد؟ و اگر شعاع یک شیء صفر باشد چه اتفاقی می‌افتد؟

در چند دههٔ بعد، فیزیک‌دانان پیشرفت‌هایی داشتند، اما این پیشرفت‌ها بیشتر یک انحراف ریاضی بود و هیچ ارتباطی با دنیای واقعی نداشت. مردم فکر کردند، ... خوب، این فقط یک رؤیاست.

در همان زمان، نظریه‌پردازان با یافتن راه‌های هوشمندانه برای جلوگیری از دام‌های مرتبط با تکینگی‌ها، مدل‌سازی پویایی اجسام کیهانی فوق‌فشرده را شروع کردند. پنروز، آن زمان ریاضی‌دان جوانی بود که علاقه زیادی به اخترفیزیک داشت و در موقعیت بهینه‌ای قرار داشت تا به دانشمندان

درگیر ریاضیات کمک کند.

پنروز برای مواجهه با پیچیدگی‌های نسبیت عام، مجموعه‌ای از ابزارهای ریاضی را ارائه داد. به‌طور خاص، او مفهوم ریاضی «سطوح به دام افتاده» را ارائه داد که به فیزیک‌دانان اجازه می‌داد با اطمینان یک افق رویداد را مشخص کنند. حتی وقتی سیاه‌چاله‌ها با هم تصادف می‌کنند و در هم ادغام می‌شوند.

شیفتگی به هندسه، پنروز را به سمت توسعهٔ نمودارهای قدرتمند و شهودی سوق داد که پویایی زمان- فضایی را که قبلاً از دسترس خارج شده بود، به تصویر می‌کشید. نمودارهای او فضا و زمان را فشرده می‌کند و به جای اینکه آن‌ها را با فاصله از بین ببرد بی‌نهایت را در صفحه قرار می‌دهد. پنروز ابزارساز برجسته‌ای نیز بود. او بسیاری از ابزارهایی را که در آن دوره برای سیاه‌چاله‌ها استفاده می‌شد و هنوز نیز استفاده می‌شود اختراع کرد.

در اواسط دهه ۱۹۹۰، وجود سیاه‌چاله‌ها حتی بدون مشاهدات مستقیم از آن‌ها امری بدیهی تلقی می‌شد. برخی از مشخص‌ترین شواهد از کارهای جداگانهٔ گز و کنزل در مورد سیاه‌چاله ابر عظیم در مرکز راه شیری به دست می‌آید. سووی گزاری، یک ستاره‌شناس در دانشگاه مریلند، می‌گوید: «اغلب، هنگامی که ما مشاهدات نجومی را تفسیر می‌کنیم، اتاق برای برخی امکانات دیگر تکان می‌خورد و آنچه در مورد مرکز کهکشانی ما بسیار زیباست این است که اندازه‌گیری‌ها امکان دیگری به غیر از سیاه‌چالهٔ چهار میلیون جرمی خورشیدی را نمی‌دهد.»

برای رسیدن به آن سطح از دقت، گز و کنزل هر کدام به طور مستقل تیم‌هایی را هدایت کردند که بیش از یک دهه وقت خود را در مسیر SO_2 (ستاره‌ای با مدار بیضوی کوتاه) صرف کردند. در ۱۶ سالی که مدار SO_2 به مدار مرکز کهکشانی کشیده می‌شد، محققان اندازه‌گیری تلسکوپ‌های خود را با نوعی فناوری به‌نام «نوری تطبیقی» که از لیزر برای اصلاح تیرگی ناشی از عبور نور از جو زمین استفاده می‌کند، به‌طور چشمگیری بهبود بخشیدند.

زمانی که SO_2 مدار کاملی را در اطراف یک تکهٔ تاریک ایجاد می‌کرد منجمان مشاهدات مستقیم دیگری از سیاه‌چاله‌ها انجام داده‌اند.

در سال ۲۰۱۲، گز تیمی را هدایت کرد که این تیم توانست با جزئیات بی‌سابقه‌ای، یک رویداد مختل جزر و مد را مشاهده کند (نامی برای یک سیاه‌چاله که شکاف‌های داخلی یک ستاره را از هم جدا می‌کند.)

وقایع بیشتری مانند ادغام دو سیاه‌چاله و امواج گرانشی متعاقب آن که توسط رصدخانه موج گرانشی لیزر تداخل‌سنج لیزری لیگو و آزمایش ویرجین گرفته شده، دلیل بیشتری بر وجود این اشیا ارائه داده است. اما شاید خیره‌کننده‌ترین شواهد تاکنون تصویر تلسکوپ Event Horizon Telescope (EHT) از سیاه‌چاله‌ای عظیم با میلیاردها جرم مثل خورشید در مرکز کهکشان Messier 87 (m87) باشد. این مشاهدات سیاه‌چاله‌ها و سایه‌های آن‌ها فراتر از تأیید نظریه اینشتین است. هر چه وضوح EHT افزایش یابد، می‌توان نظریه‌هایی را که برای اولین بار وجود آن‌ها را پیش‌بینی کرده‌اند آزمایش کرد. کنزل و همکارانش با بررسی دقیق سایه‌ای که توسط EHT مشاهده شده است، دقیق‌ترین اندازه‌گیری‌های نسبیت عام را انجام دادند. تاکنون این اندازه‌گیری‌ها با پیش‌بینی‌ها موافق بوده است.

از نظر ستاره‌شناسان، فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان سیاه‌چاله‌ها هیولا و درعین‌حال زیبا هستند. آن‌ها از نظر فیزیک فوق‌العاده‌اند و همچنان محققانی را امیدوار می‌سازند که بتوانند اسرار جدید جهان را بگشایند.

پی‌نوشت‌ها

1. https:// physicstoday. scitation. org/ doi/10.1063/PT.3.4541
2. https:// aapt. scitation. org/ doi/ full/ 10.1119/10.0002060
3. https://www. scientificamerican. com/ article/ nobel- prize work- took-black- holes- from- fantasy-to-fact/