جایزهٔ نوبل فیزیک

کشف شیءِ فشرده و اَبَرسنگین در مرکز کهکشان راه شیری را ارج می‌نهد•

ریچل برکوویتز

آندریا گِز

راینهارت گِنتسل

با ردگیریِ مدار ستارگان نزدیک به مرکز کهکشان، راینهارت گِنتسل (Reinhard Genzel) و آندریا گِز (Andrea Ghez) نشان دادند که تنها توضیح ممکن برای مدار این ستاره‌ها، وجود سیاهچاله در مرکز کهکشان است.

در سال ۱۹۲۸ کارل جَنسکی (Karl Jansky) که تازه از تحصیل فراغت یافته بود به آزمایشگاه‌های بِل پیوست، و اولین مأموریتش یافتن چشمهٔ نوفه‌ای بود که مزاحم ارتباط مخابراتی بین دو سوی اقیانوس اطلس بود. او آنتنی گردان ساخت و دریافت که سیگنال رادیویی از مرکز کهکشان راه شیری و از جهت صورت فلکیِ قوس (تیرانداز) می‌آید. در ۵ مه ۱۹۳۳ نیویورک تایمز گزارش داد که جَنسکی «نوفهٔ ستارگان» را کشف کرده است. این چشمهٔ رادیویی بعدها به قوس آ (Saggitarius A) معروف شد.

با آنکه جَنسکی (۵۰-۱۹۰۵) آن‌قدر عمر نکرد که از پیامدهای کشف خود آگاه شود، آن امواج رادیویی یکی از اولین مشاهدات جسته‌وگریخته‌ای بود که بعدها به کشف سیاهچالهٔ مرکز کهکشان انجامید. طی دهه‌های بعد مشاهدات و پیشرفت‌های نظری، گسیل‌های رادیویی از کهکشان‌های دور را توضیح داد و از آنچه در قلب کهکشانِ ماست پرده برداشت.

راینهارت گِنتسل ، آندریا گِز، و همکاران، شواهدی تجربی گرد آوردند که چشمهٔ آن سیگنال‌های رادیویی را به‌دقت معلوم کرد. اندازه‌گیری‌های پرزحمت آنها نشان داد که مدار ستارگان مرکز کهکشان با پیش‌بینی‌های نسبیت عام برای حرکت اجرام حول‌وحوشِ سیاهچاله همخوانی دارد. کمیتهٔ جایزهٔ نوبل نیمی از جایزهٔ فیزیک امسال را برای «کشف شیءِ فشرده و اَبَرسنگین در مرکز کهکشان ما» به گِنتسل و گِز اهدا کرد. یافته‌های آنان راهی جدید برای آزمودنِ آثار ظریف نسبیت عام گشود.

با اختروش آغاز شد

نجوم رادیویی در دههٔ ۱۹۵۰ ایام طفولیت خود را می‌گذراند. نقشه‌برداری‌های متعدد از آسمان، گسیل‌های رادیویی از نواحی کوچک و ظاهراً خارج از کهکشان را آشکار می‌کرد بدون آنکه در طیف

مرئی نشانی از آنها باشد. به این گسیل‌های رادیویی اسرارآمیز که موجب حیرت منجمان بود، نام اشیاءِ شبه‌ستاره‌ای (quasi-stellar objects) یا اختروش (quasar) داده شد (مقالهٔ هونگ یی چیو را در صفحهٔ ۲۱ شمارهٔ مه ۱۹۶۴ فیزیکس تودی ببینید). برای توضیح پدیدهٔ اختروش، سیاهچاله‌های اَبَرسنگین (supermassive) با جرم‌هایی بین 10^6 تا 10^9 برابر جرم خورشید پیشنهاد شد و حتی گفته شد که شاید در مرکز کهکشان ما از دوران جوانیِ اختروشی داغ‌تر، سیاهچاله‌ای به یادگار مانده باشد.

در سال ۱۹۷۱ دانالد لیندِن‌ـبِل (Donald Lynden-Bell) و مارتین ریس (Martin Rees) بر اساسِ مدل سیاهچاله برای اختروش، نشانهٔ طیفیِ غبار و ستاره‌هایی را که حول سیاهچالهٔ اَبَرسنگینِ فرضی در مرکز راه شیری در حرکت باشند، پیش‌بینی کردند. پیش‌بینی‌های آنها ستاره‌شناسان را تشویق کرد که به حیاط خلوت کیهانی خودمان نگاهی بیندازند تا شاید بتوانند ثابت کنند سیاهچالهٔ اَبَرسنگین وجود دارد.

جَنسکی در سال ۱۹۳۳ ردِّ امواج رادیویی را تا صورت فلکی قوس گرفته بود، اما کمبود بودجه و سیاست‌بازی‌های اداری مانع از آن شد که دربارهٔ خاستگاه این امواج بیشتر تحقیق کند. بالاخره در سال ۱۹۷۴ رابرت براون (Robert Brown) و بروس بِیلیک (Bruce Balick) توانستند با دقت بیشتر درون ناحیه‌ای که جَنسکی گزارش کرده بود نزدیک به مرزِ صورت‌های فلکی قوس و عقرب (Scorpius)، چشمهٔ فشرده‌تر و قوی‌تری پیدا کنند که از مرکز راه شیری امواج رادیویی گسیل می‌کرد [1]. براون این چشمه را قوس آ* (یا Sgr A*) نام داد.

اندازه‌گیریِ سرعت ستاره‌ها و ابرهای گازی که Sgr A* را دور می‌زنند جرم و شعاع این چشمه را معلوم می‌کرد. اما ابزار این کار هنوز در آغاز راه بود. ابرهای ضخیم گردوغبار، نور مرئیِ مرکز کهکشان را پنهان می‌کند بنابراین برای یافتن ساختار شیمیایی و چگونگی حرکت گردابیِ گازهای اطراف Sgr A* نیاز به طیف‌نمایی حساس در طیف فروسرخ دور (far-IR) بود.

گِنتسل می‌گوید: «اینجا بود که پدر دوم من، چارلز تاؤنز (Charles Townes)، وارد صحنه شد». گِنتسل در دههٔ ۱۹۸۰ به گروه تاونز در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی پیوست و در ساخت طیف‌سنج‌های فروسرخ برای اندازه‌گیری سرعت حرکت ابرهای گاز در فواصل مختلف از Sgr A* شرکت کرد. با این ابزارها، پژوهشگران معلوم کردند که ابرهای گاز یونیدهٔ نزدیک‌تر به مرکز کهکشان تندتر از گازهای یونیدهٔ دورتر حرکت می‌کنند و رابطهٔ سرعت‌ها با فاصله، تابع قوانین حرکت کپلر است.

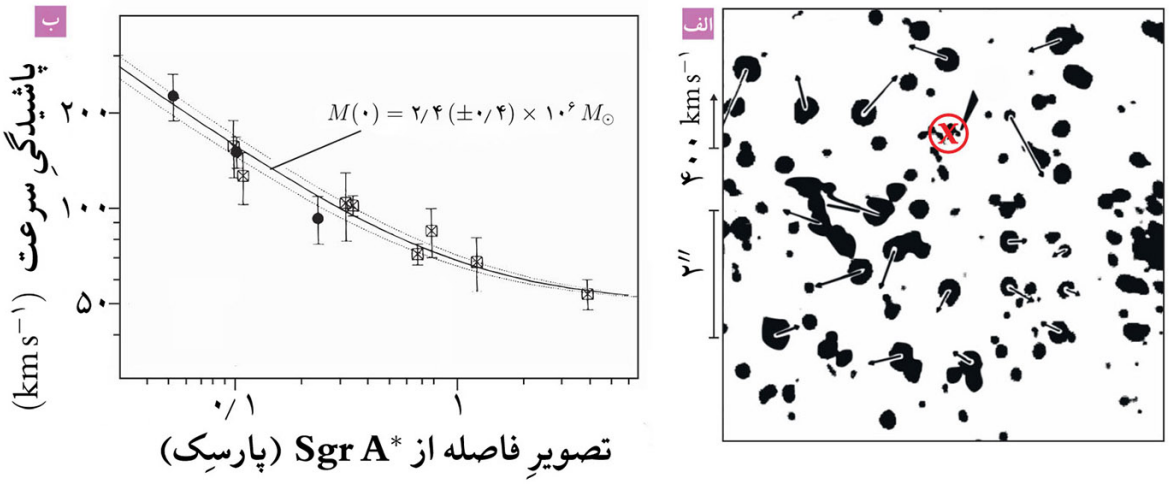
با استفاده از این سرعت‌ها، تاؤنز و گِنتسل با محاسبه نشان دادند که میدان گرانشیِ حاصل از جرمی نقطه‌ای ۴ میلیون‌بار سنگین‌تر از خورشید، می‌تواند توضیحِ چنین حرکتی برای گازهای بین‌ستاره‌ای باشد [2]. چنین جسم سنگینی با وجود سیاهچاله سازگار است. گِنتسل می‌گوید: «اما هیچ‌کس حرف ما را نپذیرفت». ستاره‌شناسان دیگر برهان آوردند که بادِ ستاره‌ای (stellar wind) یا میدان‌های مغناطیسی می‌تواند عامل حرکت گازها باشد. با وجود این، گِنتسل می‌گوید که «کاملاً بر این عقیده بودیم که سیاهچاله عامل این حرکت است.» گروه برکلی دریافت که برای متقاعدکردن جامعهٔ نجوم لازم است که ردِّ حرکت تک‌تک ستاره‌ها گرفته شود.

ستارهٔ نمایش

در اوایل دههٔ ۱۹۹۰ تصویرسازی پیسه‌ای فروسرخ نزدیک (near-infrared speckle imaging) بهترین ابزارِ در دسترس برای اندازه‌گیری موقعیت ستارگان دور بود. با این روش تصویرهای مرکّبِ واضح از اجرام آسمانی به‌دست می‌آید. بدون کاربرد این روش تلاطمِ جو، وضوح تصاویر را از بین می‌برد. در این روش تعداد زیادی تصویر با مدت زمانِ نورگیری کوتاه گرفته می‌شود. هر کدام از اینها تصویری لحظه‌ای از تلاطمی است که در زمان تغییر می‌کند. سپس این نورگیری‌های کوتاه جابه‌جا می‌شود تا الگوی ستاره‌های تصویر شده بر هم منطبق شود و از جمع‌کردنِ این عکس‌ها عکسی حاصل می‌شود که از هر تک نورگیریِ کوتاه واضح‌تر است (مقالهٔ استیو هاوِل و الیوت هورچ را در صفحهٔ ۷۸ شمارهٔ نوامبر ۲۰۱۸ فیزیکس تودی ببینید).

گِنتسل و گِز هر کدام کار خود را بر تصویربرداریِ پیسه‌ای از خوشه‌های ستاره‌ایِ اطراف مرکز کهکشان متمرکز کردند. سه سال گِز و همکارانش در دانشگاه ایالتی کالیفرنیا در لُس‌آنجلس (یوسی‌ال‌اِی)، دوربین فروسرخ نزدیک خود در رصدخانهٔ دبلیو. ام. کِک (W. M. Keck observatory) در هاوایی را برای گرفتن رد ۹۰ ستاره در آسمان به کار بردند [3]. گِنتسل و همکارانش در مؤسسهٔ ماکس پلانک برای فیزیک فرازمینی (Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics) در آلمان، تلسکوپ ۳٫۵ متریِ فناوری نوین (New Technology Telescope) در رصدخانهٔ جنوبی اروپا (European Southern Observatory به اختصار ESO) در شیلی را به کار گرفتند تا موقعیت ۳۹ ستاره را که برخی از آنها در شکل ۱ نشان داده شده است، طی دوره‌ای چهارساله دنبال کنند [4].

هر دو گروه در اواخر دههٔ ۱۹۹۰ به این نتیجه رسیدند که در مرکز کهکشان ما جرمی تیره برابر با جرم دو تا سه‌میلیون خورشید جا گرفته



شکل ۱. حرکت ستاره‌های نزدیک به مرکز کهکشان: (الف) بردارها حرکت ستاره‌ها را در مجاورت چشمهٔ رادیویی قوس آ* (Sgr A* که با علامت X در شکل مشخص شده) نشان می‌دهد که طی چهار سال نقشه‌برداری از آسمان به‌دست آمده است. **(ب)** سرعت هر ستاره تابعی است از فاصلهٔ آن با Sgr A*. دایره‌های توپُر پاشیدگیِ سرعت ستاره‌ها [پراکندگیِ آماری سرعت ستاره‌ها نسبت به سرعت میانگین گروه‌ـم.] را نشان می‌دهد که بر اساس حرکت ویژهٔ ستاره [حرکت دوبُعدی ستاره در صفحهٔ آسمان‌ـم.] تخمین زده می‌شود. مستطیل‌های توخالی نمایندهٔ تخمینِ پاشیدگیِ سرعت ستاره بر اساس سرعت آن در راستای دید است. منحنی نشان می‌دهد که برای جرمی سنگین و نقطه‌ای برابر با ۲/۴ میلیون جرم خورشید، انتظار می‌رود سرعت ستاره‌ها چه رفتاری داشته باشد (از مرجع 4 با تغییرات).

است (شکل ۱). توآن دو (Tuan Do) دانشجوی پیشین گِز که اکنون نایب رئیس گروه مرکز کهکشان در یوسی‌ال‌اِی است می‌گوید: «این کار راه را برای اثبات اینکه چیزی سنگین در این ناحیه وجود دارد باز کرد.»

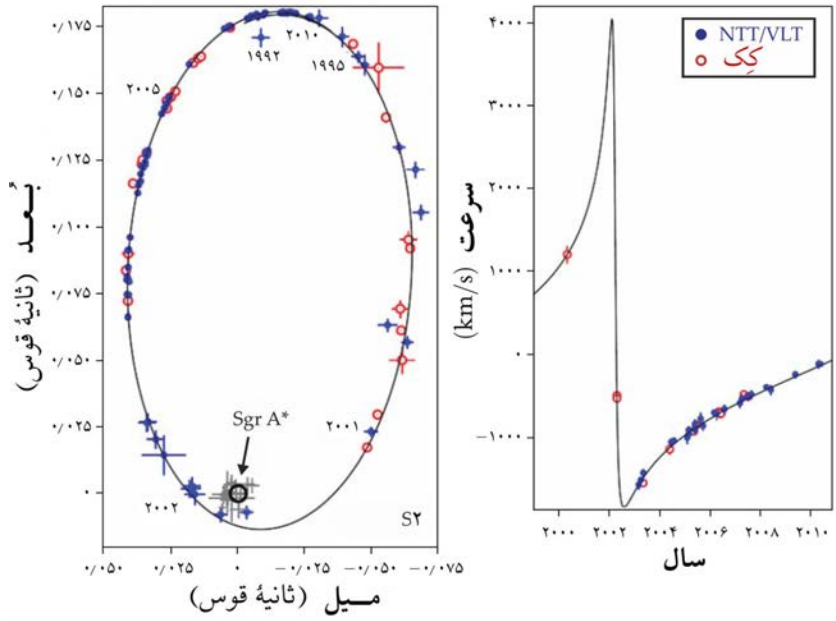
گنتسل می‌گوید که این نخستین اندازه‌گیری‌های سرعت‌های ستاره‌ها ستاره‌شناسان را قانع کرد که در مرکز کهکشان سیاهچاله وجود دارد اما فیزیکدان‌ها متقاعد نشدند. فیزیکدان‌ها نسبت به قابل‌اطمینان‌بودنِ رصدهای دوردست بدون سنجشِ آشکارِ شتاب‌های مداری تردید داشتند. هر دو گروه پژوهشی می‌دانستند که برای حلّ قطعی مسئله، علاوه بر اندازه‌گیریِ تغییر موقعیت ستاره‌ها، نیاز است سرعت شعاعی ستاره‌ها ــ یعنی حرکت آنها در راستای دید مشاهده‌گر ــ مستقیماً اندازه گرفته شود. اما این کار با تصویرسازیِ پیسه‌ای میسر نبود. با نورگیریِ کوتاه‌مدت فقط می‌توان پرنورترین ستاره‌ها را دنبال کرد. سنجش سرعت به مساحی‌های طولانی و تلاش مستمر برای کاهش خطاهای اندازه‌گیری نیاز دارد.

دو می‌گوید خوشبختانه «همین موقع بود که فناوری هم بهتر شد.» فناوری نوین موسوم به اپتیک تطبیقی (adaptive optics) اول بار در سال ۱۹۵۳ به میان آمد. این روش این امکان را می‌دهد که وضوح‌شویی (blurring) برخاسته از تلاطم جَو در تلسکوپ‌های زمینی را جبران کرد و تقریباً به همان وضوح رصد کرد که انگار تلکسوپ در فضاست. امکان کاربردِ این روش برای گروه گز در رصدخانهٔ کِک در سال ۲۰۰۰ و برای گروه گِنتسل در رصدخانهٔ جنوبی اروپا در سال ۲۰۰۳ فراهم شد.

در اپتیک تطبیقی، حسگر کژشدگی (اِعوِجاج) جبههٔ موجی را اندازه می‌گیرد که تلسکوپ از شیءِ مرجعی در آسمان دریافت می‌کند. شیءِ مرجع، ستاره‌ای درخشان در نزدیک هدف رصد و یا ستاره‌ای مصنوعی است که در اثرِ انگیختنِ اتم‌های سدیم جو با نور لیزر خلق می‌شود. با پس‌خوردِ این اندازه‌گیری و تغییر شکلِ آینهٔ تلسکوپ، وضوح ازدست‌رفته جبران می‌شود (مقالهٔ لِیرد تامسون را در صفحهٔ ۲۴ شمارهٔ دسامبر ۱۹۹۴ فیزیکس‌تودی ببینید). در این فناوری امکان استفاده از طیف‌سنج نیز وجود دارد که با آن می‌توان ترکیب و سرعت شعاعیِ ستاره را مستقیماً سنجید.

در سال ۲۰۰۲، گِز و همکارانش نخستین اندازه‌گیری تک‌ستاره‌ای در خوشهٔ ستاره‌های مرکز کهکشان را که S۰۲ نامیده بودند، به اتمام رساندند [5]. پژوهشگران جابه‌جاییِ دُپلریِ طیف گسیلیِ S۰۲ را سنجیدند، سرعت آن را در گردش دور Sgr A* استنتاج کردند، و جرم و مکان شیئی را که ستاره می‌بایست در مدارش باشد به‌دقت معلوم کردند. دو می‌گوید: «برای تعیین جرم سیاهچاله و فاصلهٔ ستاره تا مرکز کهکشان به هیچ فرض دیگری به غیر از قوانین کپلر نیاز نبود.»

گروه گِنتسل نیز مشاهدات مشابهی را برای ردگیری همان ستاره که آنها نام ساده‌تر S۲ را برایش انتخاب کردند، به انجام



شکل ۲. مدار بیضوی S۲ به دور قوس آ*: تصویر سمت چپ جابه‌جا شدنِ ستاره نسبت به Sgr A* را همان‌طور که در آسمان دیده می‌شود، و تصویر سمت راست سرعت شعاعیِ آن را نشان می‌دهد. دایره‌های آبی نمایندهٔ داده‌های تلسکوپ فناوری نوین (NTT)، و تلسکوپ بسیار بزرگ (VLT)، و دایره‌های سرخ مربوط به داده‌های تلسکوپ رصدخانهٔ کِک است. ضربدرهای خاکستری موقعیت شراره‌های فروسرخی را نشان می‌دهد که در نزدیکی Sgr A* رصد شده است. داده‌ها تا سال ۲۰۱۰ گرد آورده شده‌اند (از مرجع 7 با تغییرات).

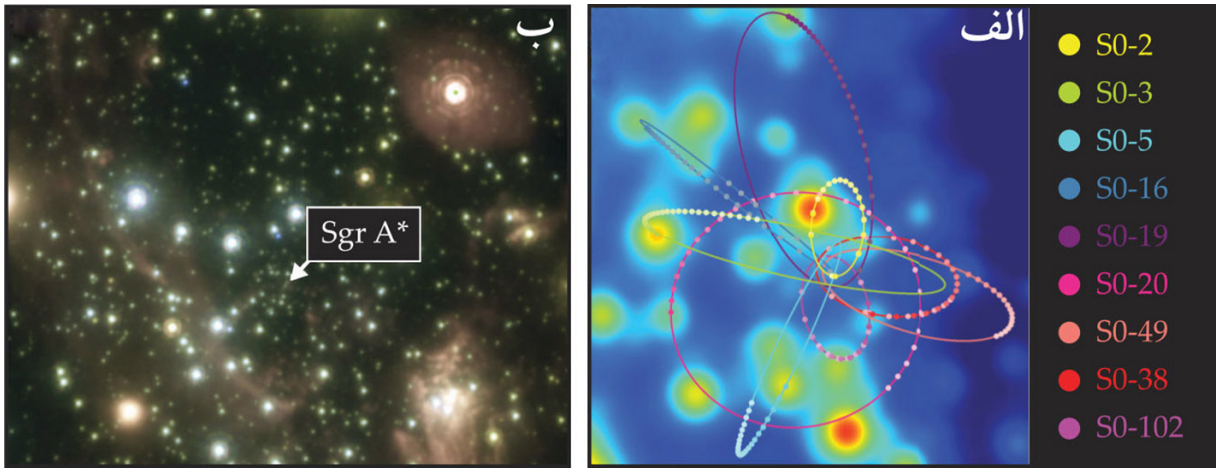
رساندند. اندازه‌گیری‌های دو گروه دقیقاً با مسیری بسیار بیضوی حول سیاهچاله‌ای به جرم ۴ میلیون خورشید منطبق بود. ستاره در حضیضش ۱۷ سال نوری با Sgr A* فاصله داشت [6]. گِنتسل می‌گوید: «زمانی که کار اندازه‌گیری یک مدار به اتمام رسید، فیزیکدان‌ها موضوع را جدی گرفتند.»

کارِ رصد که چند سال دیگر ادامه یافت (شکل ۲) نشان می‌داد که بین یافته‌های تلسکوپ کِک و تلسکوپ بسیار بزرگ رصدخانهٔ جنوبی اروپا توافق عالی وجود دارد. با تحلیل مجموع این داده‌ها مقادیر دقیق‌تر برای تمام پارامترهای مدار به دست آمد. دو می‌گوید: «داده‌ها مستقلاً نشان می‌داد که جرم مرکزی چنان متراکم است که هیچ مدلی مگر سیاهچالهٔ اَبَرسنگین را نمی‌پذیرد». مشاهدات فرض‌های دیگر مثل خوشهٔ اشیائی با جرم‌هایی در حد ستاره را رد می‌کرد و رصد شراره‌های فروسرخ نزدیکی که از Sgr A* می‌آمد و می‌تواند نشانهٔ فروریزش جرم به درون سیاهچاله باشد فرض وجود سیاهچاله را تقویت کرد [7].

پیش‌روی دقیق

هر دو گروه می‌دانستند که S۲ در سال ۲۰۱۸ به نزدیک‌ترین فاصله‌اش از سیاهچالهٔ اَبَرسنگین باز خواهد گشت و بی‌صبرانه منتظر بودند که یکی از پیش‌بینی‌های اصلی نظریهٔ نسبیت عام اینشتین را بیازمایند: نظریهٔ اینشتین پیش‌بینی می‌کند که کل مدار بیضوی باید به‌تدریج بچرخد و آهنگ این حرکت تقدیمی (precession) (پیش‌رَوی) با آنچه مکانیک کلاسیک نیوتونی پیش‌بینی می‌کند متفاوت است. پیش‌بینی نسبیت عام برای میدان‌های گرانشی ضعیف مثل نیرویی که خورشید بر سیارهٔ تیر (عطارد) وارد می‌کند تأیید شده بود اما آزمودن این پیش‌بینی در میدان گرانشیِ قوی تنها با رصد آن ستاره‌ها در مرکز کهکشان میسر است که دورهٔ مدارشان کوتاه باشد. هر دو گروه مدار S۲ را رصد کردند و نشان دادند که پیش‌بینی نظریه در میدان گرانشی قوی نیز درست است [8].

اسکات ترِمین (Scott Tremaine) از مؤسسهٔ مطالعات پیشرفتهٔ پرینستون نیوجرسی می‌گوید که ناهمخوانیِ حرکت تقدیمی ستاره‌ها با نسبیت عام تعجب‌آور خواهد بود. اما با افزایش دقت و مدت اندازه‌گیری‌ها، هر گونه انحراف حرکت تقدیمیِ نسبیتی می‌تواند قیدهایی ظریف بر نظریه‌های گرانش را آشکار کند که تاکنون به‌شکل کمّی تعریف نشده است. چنین انحراف‌هایی همچنین می‌تواند سرنخ وجود مادهٔ غیرنورانی ــ مثلاً ستاره‌های بسیار کم‌فروغ ــ درون مدار ستاره باشد. ترِمین می‌گوید: «مشکلی که باید حل کرد واتافتنِ اثر ستاره‌های دیگر از آثار نسبیتی است.»



شکل ۳. با بهترشدنِ فناوری، تصاویری در مقیاس ریزتر از مرکز کهکشان به‌دست آمده است: (الف) بیست‌وپنج سال رصد، حرکت بسیاری از ستاره‌ها از جمله S۰۲ را در ۱/۰ × ۱/۰ ثانیهٔ قوس مرکزیِ کهکشان راه شیری آشکار کرده است. نقاط رنگین میانگین موقعیت ستاره‌ها در طول یک سال است. بهترین جواب‌هایی نیز که از برازشِ حرکت ستاره‌ها حول سیاهچالهٔ مرکزی اَبَرسنگین به‌دست آمده، در شکل نمایش داده شده است. پس‌زمینهٔ شکل، تصویرِ ۱/۰ × ۱/۰ ثانیهٔ قوس مرکزی کهکشان است که در سال ۲۰۱۵ گرفته شده و بهترین تصویر در حدی است که پراش نور امکان می‌دهد. **(ب)** تصویر همان ۱/۰ × ۱/۰ ثانیهٔ قوس مرکزی کهکشان که با سیستم اپتیک تطبیقی و ستارهٔ راهنمای لیزری در رصدخانهٔ کِک گرفته شده (با سپاس از رصدخانهٔ کِک و گروه مرکز کهکشان یوسی‌ال‌اِی).

برای این کار لازم است مدار ستاره‌های دیگر نزدیک به مرکز کهکشان را بررسی کرد. داده‌هایی که گِنتسِل و گِز گرد آوردند ستاره‌های کم‌نورتر از S۲ را آشکار کرد که گاهی پشت یک‌دیگر پنهان بودند اما بخشی از مدار آنها را می‌توان با جست‌وجوی دقیق داده‌های قدیمی‌تر به‌دست آورد (شکل ۳). چشم‌انداز هیجان‌آور، یافتن و اندازه‌گرفتنِ مدار ستاره‌هایی است که از این هم به مرکز کهکشان نزدیک‌تر باشند چون آثار نسبیتی برای آنها قوی‌تر خواهد بود. ترمِین می‌گوید: «نمی‌دانیم ستاره پیش از آن‌که نابود شود تا چه حد می‌تواند به سیاهچاله نزدیک شود. امید است که با این اندازه‌گیری‌ها بتوان ستاره‌هایی را کشف کرد که از این هم به سیاهچاله نزدیک‌تر باشند».

فناوری‌های نوظهور می‌تواند مؤثر باشد. پژوهشگران ESO اخیراً تداخل‌سنج تلسکوپ بسیار بزرگ را ساخته‌اند که رصدهای چهار تلسکوپ را ترکیب می‌کند تا تصاویری با تفکیک‌پذیری تلسکوپی ۱۳۰ متری به‌دست بیاید. در این بین رصدخانهٔ کِک مشغول برنامه‌ریزی برای سیستم اپتیک تطبیقی نسل دوم است.

امیدها و انتظارات

گِنتسِل می‌گوید: «هر چه تاکنون دیده‌ایم با نسبیت عام توافق دارد» با وجود این، اثبات غیرقابل‌انکارِ وجودِ سیاهچاله نیاز به تعیین پارامترهای خاص دیگری دارد که بر اساس نسبیت عام پیش‌بینی می‌شود. این پارامترها علاوه بر جرم، آهنگ چرخشِ سیاهچاله را نیز شامل می شود. شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدار ستاره‌ای در فاصلهٔ نیم تا یک‌سوم فاصلهٔ S۲ از مرکز کهکشان می‌تواند داده‌های لازم را برای محاسبهٔ اسپین و میدان گرانشی سیاهچالهٔ فرضی کهکشان راه شیری فراهم کند. با دورشدن ستارهٔ درخشان S۲ از مرکز کهکشان ترسیم مدار ستارگان کم‌نورتر و نزدیک‌تر به مرکز کهکشان آسان‌تر خواهد شد.

تصویری که گِنتسِل و گِز از مرکز کهکشان به دست داده‌اند، امکانات بیشتری برای یافتن پاسخ سؤالات پیچیده به‌وجود آورده است: انرژی‌ای که در شکل‌گیریِ سیاهچاله رها می‌شود چه تأثیری در تحول بقیهٔ کهکشان دارد؟ آهنگ فروافتادن ستاره‌ها در سیاهچالهٔ مرکز کهکشان چیست؟ سیاهچاله چطور اَبَرسنگین می‌شود؟

با اپتیک تطبیقی تا کنون شمار زیادی ستاره‌های جوان دیده شده و معلوم شده است که ستارهٔ قدیمی نزدیک Sgr A* وجود ندارد. ترمِین می‌گوید: «این محیط برای شکل‌گیریِ ستاره مناسب نیست». اگر ستاره بیش از حد به سیاهچاله نزدیک شود نیروهای کشندی شکل ستاره را تغییر می‌دهد و شراره از ستاره بیرون می‌زند. برهم‌کنش ستاره و سیاهچاله می‌تواند به ستاره سرعت فوق‌العاده زیاد بدهد و ستاره از کهکشان بگریزد (مقالهٔ وارِن براون را در صفحهٔ ۵۲ شمارهٔ ژوئن ۲۰۱۶ فیزیکس تودی ببینید).

در آغاز شیئی که از مرکز کهکشان امواج رادیویی گسیل می‌کند، به‌صورت «نوفهٔ ستاره‌ها» و چشمه‌ای ظاهر شد که در کار مخابرات زمینی تداخل ایجاد می‌کرد. اکنون این شیء، مشخص‌کنندهٔ ناحیه‌ای

از کهکشان است که می‌تواند آزمایشگاهی برای رصد تأثیر سیاهچالهٔ اَبَرسنگین بر محیط‌های ستاره‌ای و بین‌ستاره‌ای باشد. شِلی رایت (Shelley Wright)، از دانشگاه کالیفرنیا در سن‌دیه‌گو می‌گوید: «فیزیک بهتر هنوز در راه است».

ترجمهٔ نادر حیدری

(ویراستار مجری پیشین مجلهٔ فیزیک مرکز نشر دانشگاهی)

• **Rachel Berkowitz**, *The Nobel Prize in Physics honors the discovery of a supermassive compact object at the heart of the Milky Way*, Physics Today **73** (2020), 17.

مراجع

1 **B. Balick** and **R.L. Brown**, *Intense subarcsecond structure in the galactic center*, Astrophys. J. **194** (1974), 265.

2 **M.K. Crawford** et al., *Mass distribution in the galactic centre*, Nature **315** (1985), 467.

3 **Andrea M. Ghez** et al., *High proper-motion stars in the vicinity of sagittarius A*: Evidence for a supermassive black hole at the center of our galaxy*, Astrophys. J. **509** (1998), 678.

4 **A. Eckart** and **Reinhard Genzel**, *Observations of stellar proper motions near the galactic centre*, Nature **383** (1996), 415.

5 **Andrea M. Ghez** et al., *The first measurement of spectral lines in a short-period star bound to the galaxy's central black hole: A paradox of youth*, Astrophys. J. Lett. **586** (2003), L127.

6 **R. Schödel** et al., *A star in a 15.2-year orbit around the supermassive black hole at the centre of the Milky Way*, Nature **419** (2002), 694.

7 **Reinhard Genzel**, **F. Eisenhauer**, and **S. Gillessen**, *The galactic center massive black hole and nuclear star cluster*, Rev. Mod. Phys. **82** (2010), 3121.

8 **R. Abuter** et al., *Detection of the gravitational redshift in the orbit of the star S2 near the galactic centre massive black hole*, Astron. Astrophys. **615** (2018), L15;

9. **T. Do** et al., *Relativistic redshift of the star S0-2 orbiting the galactic center supermassive black hole*, Science **365** (2019), 664.