

# اسرار زندگی سیاهچاله‌ها

اِسْتِیو نادیس

گرانش فوق‌العاده شدید سیاهچاله‌ها ما را به مرزهای فیزیک می‌برد، جایی که بیش از آن نمی‌توان از تجربیات روزمره فاصله گرفت. در تکینگی مرکز سیاهچاله‌ها، چگالی و خمیدگی به بی‌نهایت می‌رسد، فضا و زمان مختل می‌شوند و ابزارهای فیزیک متعارف کارایی خود را از دست می‌دهند.

با این حال، سیاهچاله‌ها را می‌توان به شکل کاملاً ساده و خلاصه توصیف کرد: مطابق سخن مشهور فیزیکدان دانشگاه تگزاس جان ویلر «سیاهچاله‌ها مو ندارند»، یعنی جزئیاتی ندارند. تنها کمیت‌هایی که یک مشاهده‌گر خارجی می‌تواند در مورد یک سیاهچاله جمع‌آوری کند، جرم و چرخش آن است. تاریخچه‌ی پیچیده‌ی موادی که به داخل سیاهچاله راه یافته‌اند - برای مثال ستاره‌های در حال مرگ یا کهکشانی تکه‌تکه‌شده - تابش شده و رفته است.

رامش نارایان از مرکز اختر فیزیک اسمیتسونی - هاروارد (CfA) در کمبریج واقع در ماساچوست در این باره چنین توضیح می‌دهد: «این همان معجزه‌ی سیاهچاله‌هاست. اگر جرم و سرعت چرخش آنها را اندازه بگیرد، به نوعی کل ماجرا را دریافته‌اید.»

چرخش سیاهچاله‌ها ضمن اینکه یکی از داده‌های ضروری برای درک خود این اجرام است، برای پی بردن به نحوه‌ی تأثیرگذاری آنها بر محیط اطرافشان نیز حیاتی است. اکنون، اخترشناسان روش‌هایی برای اندازه‌گیری چرخش سیاهچاله‌ها یافته‌اند.

گرچه سیاهچاله وقتی از دور مشاهده می‌شود ساده به نظر می‌رسد، برهمکنش‌های پیچیده‌ای با گازهای داغی که به دور آن می‌چرخند صورت می‌دهد. این مسئله به‌ویژه در مورد سیاهچاله‌هایی که با سرعت به دور خود می‌چرخند، صادق است. سیاهچاله‌ی چرخان به علت میدان گرانشی شدیدی که دارد، فضا-زمان را همراه خود می‌کشد. بنابراین، به گفته اخترشناس Cfa جفری مک کلینتاک، هرگونه تحقیق درباره‌ی چگونگی برهمکنش سیاهچاله‌ها باید با اندازه‌گیری جرم و نحوه‌ی چرخش این اجرام آغاز شود.

اندازه‌گیری جرم برای سیاهچاله‌هایی با ابعاد ستاره‌ها که در منظومه‌های دوتایی پرتو ایکس واقع‌اند، نسبتاً ساده و سرراست است. اخترشناسان سرعت چرخش ستاره‌ی همدم را به دور سیاهچاله ثبت کرده، از روی آن جرم را تعیین می‌کنند. در واقع اخترشناسان از مقدار جرم بیش از ۲۰ سیاهچاله که جرمشان در حد ستاره‌ها است، اطلاع دارند.

متأسفانه، این روش در مورد سیاهچاله‌های آبرپر جرم که به اندازه‌ی یک میلیون تا یک میلیارد ستاره جرم دارند، جوابگو نیست. زیرا معمولاً مشاهده ستاره‌هایی که به دور مرکز یک کهکشان در حال حرکت‌اند، غیرممکن است و بنابراین دانشمندان هرگز نمی‌توانند جرم سیاهچاله آبرپر جرم را به طور دقیق تعیین کنند.

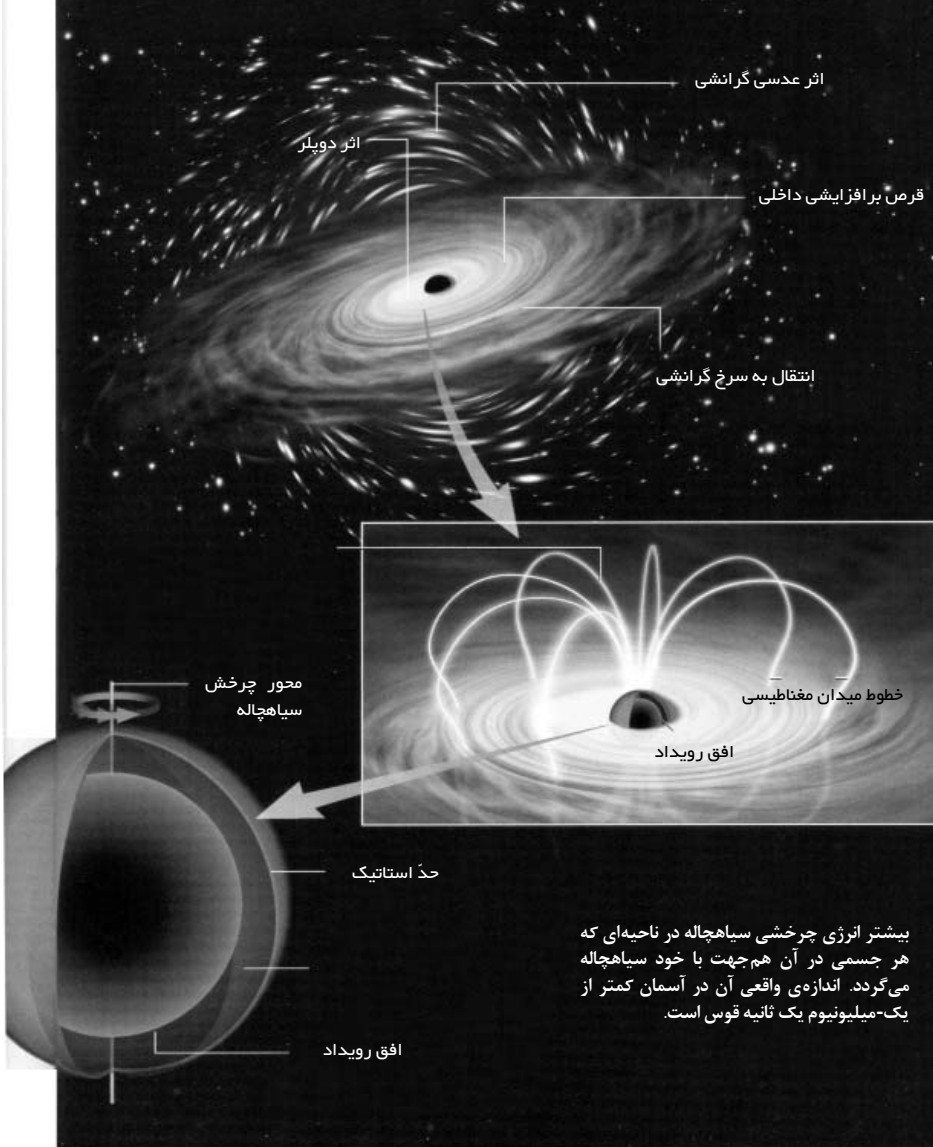
تا همین اواخر، اندازه‌گیری سرعت چرخش سیاهچاله‌ها به دور خودشان از عهده‌ی اخترشناسان خارج بود. دانشمندان چرخش سیاهچاله را با استفاده از پارامتر بدون بُعدی به نام  $a^*$  (که  $a$ -ستاره خوانده می‌شود) به طور کمی بیان می‌کنند. این پارامتر از صفر-در مورد سیاهچاله‌های غیرچرخان که سیاهچاله‌های شوارتزشیلد نامیده می‌شوند- تا یک-در مورد اجرامی که با حداکثر سرعت مجاز در نسبیت عام می‌چرخند- متغیر است.

در حال حاضر سه روش برای تعیین  $a^*$  در اختیار است. اخترشناسان روش چهارمی را آماده‌ی اجرا دارند، اما آنها برای این کار به یک رصدخانه فضایی جدید نیاز خواهند داشت. این دوران، برای محققانی که در زمینه‌ی سیاهچاله‌ها کار می‌کنند، دوران مهیجی است.

#### تطبیق طیف پیوسته

مک کلینتاک و نارایان پیشگام در استفاده از روشی به نام تطبیق طیف پیوسته‌اند. این روش شامل بخش‌های نظری و رصدی به میزان یکسان است. آنها منظومه‌های دوتایی پرتو ایکس را مورد بررسی قرار می‌دهند؛ منظومه‌هایی که در آنها یک ستاره‌ی همدم از حضور سیاهچاله‌ای پرده بر می‌دارد که جرم آن در حد ستاره‌ها است. این سبب می‌شود مک کلینتاک و نارایان بتوانند در مورد جرم سیاهچاله به عدد خوبی برسند که نقطه‌ی شروعی در روش بررسی آنهاست.

گرانش شدید سیاهچاله گاز را از ستاره‌ی همسایه می‌رباید. این گاز به شکل مارپیچی به طرف سیاهچاله سرازیر می‌شود و این جرم نامرئی را با قرصی برافزایشی از پلاسمای داغ احاطه می‌کند. در لبه‌ی داخلی این قرص، که گاز بیشترین سرعت را دارد، دما به ۲۰ میلیون



بیشتر انرژی چرخشی سیاهچاله در ناحیه‌ای که هر جسمی در آن هم‌جهت یا خود سیاهچاله می‌گردد. اندازه‌ی واقعی آن در آسمان کمتر از یک-میلیونیوم یک ثانیه قوس است.

دیویس از دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا، این کار را در مورد سیاهچاله‌ی چهارمی نیز انجام داده است. یکی از این اجرام،  $GRS 1915+105$ ، به سبب سرعت بسیار زیاد چرخشش از بقیه جالب‌توجه‌تر است. این سیاهچاله در هر ثانیه بیش از ۹۵۰ بار می‌چرخد یعنی ۹۸ درصد حداکثر سرعتی که نسبیت اجازه آن را می‌دهد.

اخترفیزیکدان دانشگاه مرلیند، کریس رینولدز این نکته را گوشزد می‌کند که گرچه استدلال کلی صحیح و منطقی است، او در مورد جزئیات مسئله کمتر مطمئن است. او در این فکر است که «آیا ما آن قدر از طیف سر در می‌آوریم که بگوییم سرعت چرخش  $0.98$  است و نه  $0.95$ ؟»

#### خطوط طیفی آهن

مک کلینتاک و نارایان خطوط مجزا را در دوتایی‌های پرتو ایکس مورد توجه قرار نمی‌دهند، اما برخی اخترشناسان دیگر بر یکی از خطوط طیفی که بیشترین بررسی‌ها روی آنها انجام شده است، یعنی خط نشری آهن، متمرکزند. این خط به علت اثری به نام انتقال به سرخ گرانشی در نزدیکی یک سیاهچاله تیره و محو می‌شود. هرچه گاز به سیاهچاله نزدیک‌تر می‌شود، زمان کندتر می‌گذرد. رینولدز در این باره چنین توضیح می‌دهد: «اتمی که تابش می‌کند مثل یک ساعت است. با نزدیک شدن به سیاهچاله، فرکانس تابش کمتر و کمتر می‌شود». او و

کلونین می‌رسد. این مواد داغ تا زمانی که گاز به داخلی‌ترین مدار دایره‌ای پایدار (ISCO) برسد، پرتوهای ایکس تابش می‌کنند. پس از آن، گاز با چنان سرعتی به سمت سیاهچاله سرازیر می‌شود که هیچ تابش قابل توجهی نخواهد داشت.

مک کلینتاک و نارایان طیف پیوسته کلی مربوط به تابش پرتو ایکس را بررسی می‌کنند تا دمای گاز را اندازه بگیرند. آنها به این روش می‌توانند اندازه‌ی ISCO سیاهچاله را تعیین کنند. زیرا هرچه توده‌ای از گاز به سیاهچاله نزدیک‌تر شود، گرانش سیاهچاله بر آن بیشتر اثر می‌گذارد و این امر گردش گاز را سریع‌تر و گرم شدن آن را به علت اصطکاک شدیدتر می‌کند. اما شعاع ISCO یک سیاهچاله‌ی طبق قواعد نسبیت عام بسته به چگونگی چرخش آن تغییر می‌کند.

اخترشناسان با دانستن شعاع می‌توانند سرعت چرخش سیاهچاله را تعیین کنند. ISCO یک سیاهچاله غیرچرخان با ۱۰ برابر جرم خورشید، ۹۰ کیلومتر است. اگر همین سیاهچاله با حداکثر سرعت ( $a^*$  مساوی یک) می‌چرخد، ISCO آن به ۱۵ کیلومتر می‌رسد.

مک کلینتاک، نارایان، و چهار تن از همکارانشان با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده به کمک ماهواره کاوشگر تعیین زمان پرتو ایکس رسی (RXTE) ناسا، سرعت چرخش سه سیاهچاله را تعیین کرده‌اند. شین

محققان دیگر با تجزیه و تحلیل این خطوط طیفی می‌توانند میزان انتقال به سرخ گرانشی را تعیین و برآورد کنند که قرص برافزایشی تا چه فاصله‌ای در نزدیک سیاهچاله گسترده شده است. درست مثل روش تطبیق طیف پیوسته خط طیفی آهن نیز برای اخترشناسان شعاع ISCO را مشخص می‌کند که متقابلاً، سرعت چرخش سیاهچاله را برای آنها معین می‌سازد.

درحال حاضر اخترشناسان این روش را در مورد یک سیاهچاله با جرم ۱۰ میلیون برابر خورشید در مرکز کهکشان مارپیچی ۱۵-۳۰-۶ MCG به کار برده‌اند و نتیجه آن اندازه‌گیری  $a^*$  به میزان  $0.987$  بوده است. به بیان دیگر، این سیاهچاله ظاهراً با سرعت  $987\%$  درصد حد نظری آن در چرخش است. اما رینولدز می‌خواهد پیش از اینکه این عدد را با هیاهو به همه اعلام کند، کاملاً مطمئن شود که واقعاً ISCO را مشاهده می‌کرده است.

### آواز سیاهچاله

برخی اخترشناسان دیگر از این واقعیت بهره می‌برند که بعضی از سیاهچاله‌هایی که جرمی در حد ستاره‌ها دارند، دست‌کم گاهی اوقات «آواز» می‌خوانند. آنها نوت‌هایی با فرکانس بالا گسیل می‌کنند که به ارتعاشات شبه تناوبی مشهور است.

فرکانس این نوسان به محققان می‌گوید که گازی که به دور سیاهچاله می‌گردد و پرتو ایکس تابش می‌کند، چقدر داغ است و این متقابلاً، شعاع مدار گاز را تعیین می‌کند. اگر شعاع از ISCO یک سیاهچاله‌ی غیر چرخان کوچک‌تر باشد، این طور نتیجه‌گیری می‌شود که سیاهچاله در حال چرخش است.

مشکلی که وجود دارد این است که هنوز نمی‌توان این ارتعاشات را به اعدادی برای سرعت چرخش سیاهچاله تبدیل کرد. چندین مدل برای این نوسانات وجود دارد که هر کدام سرعت چرخش متفاوتی را به دست می‌دهد.

اما این روش همچنان بسیار نویدبخش است. چون، این اندازه‌گیری‌های فرکانس تا میزان ده درصد دقت دارند. علاوه بر این، به نظر می‌رسد که این ارتعاشات در قالب جفت فرکانس‌هایی با نسبت سه به دو یافت می‌شود (برای مثال ۴۵۰ و ۳۰۰ هرتز). این فرکانس‌ها در طول زمان تغییر نمی‌کنند، حتی اگر سیاهچاله یک سال یا بیشتر ساکت شود و سپس دوباره به «آواز خواندن» ادامه دهد.

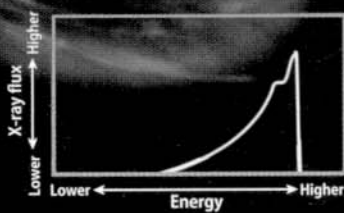
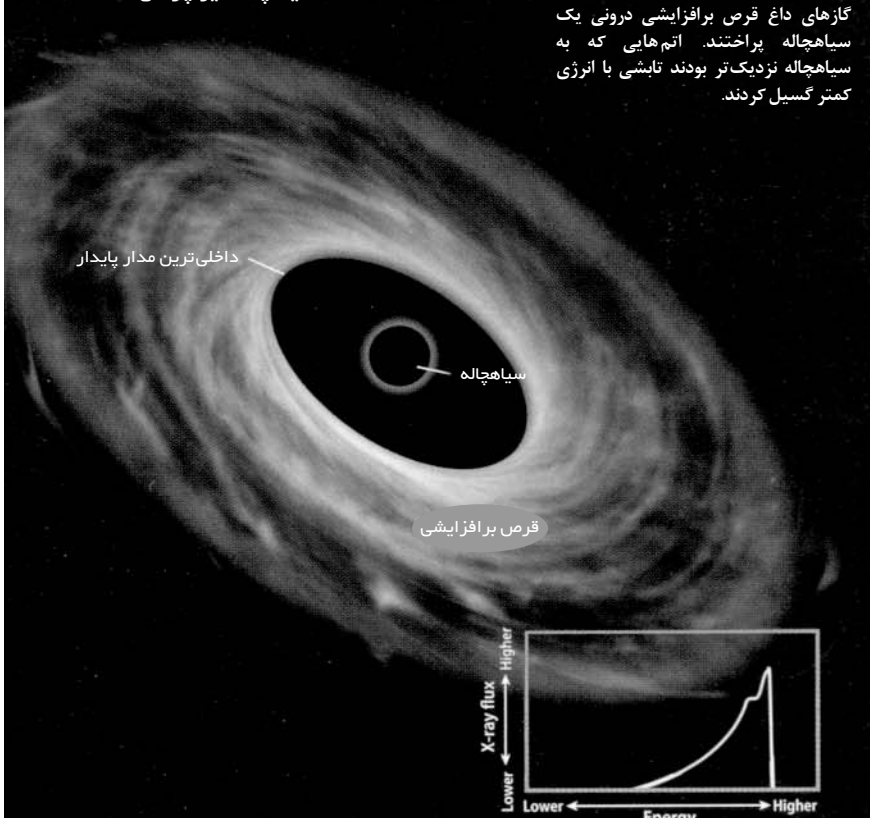
به گفته مک‌کلینتاک با توجه به امکان اندازه‌گیری دقیق و روشن، «روزی که مدلی داشته باشیم که تعیین کند دقیقاً چه چیزی در حال نوسان است، ممکن است ببینیم که این روش، بهترین شیوه‌ی اندازه‌گیری سرعت چرخش است».

### روی آوردن به قطبش

راهکار چهارمی پیشنهاد شده است که در آن قصد بر این است که از قطبشی استفاده شود که انتظار می‌رود پرتو ایکس تابش شده از منظومه‌های شامل سیاهچاله و قرص برافزایشی داشته باشد. هم انحنای فضا-زمان در نزدیکی سیاهچاله و هم پیچ و تاب‌ی که چرخش سیاهچاله

اخترشناسانی که از رصدخانه‌ی پرتو ایکس چاندرا و ماهواره‌ی نیوتن-XXM اس‌ا استفاده می‌کنند به بررسی تابش آهن در گازهای داغ قرص برافزایشی درونی یک سیاهچاله پرداختند. اتم‌هایی که به سیاهچاله نزدیک‌تر بودند تابشی با انرژی کمتر گسیل کردند.

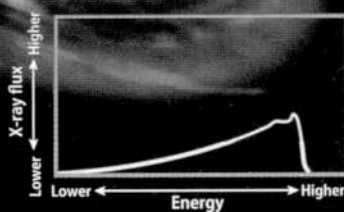
سیاهچاله غیر چرخان

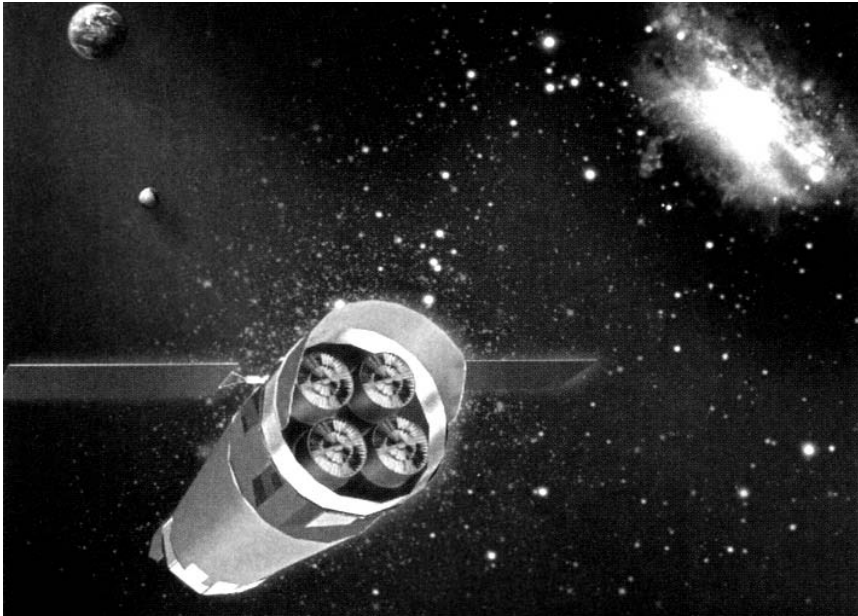


سیاهچاله غیر چرخان

مدار ذره‌ای در نزدیکی سیاهچاله بستگی به چگونگی پیچش فضا-زمان به کمک سیاهچاله دارد که خود به سرعت چرخش سیاهچاله وابسته است. سیاهچاله‌ی چرخان فضای اطرافش را نیز با خود می‌کشد و اجازه می‌دهد اتم‌ها نسبت به حالت عادی در سیاهچاله غیر چرخان به مرکز نزدیک‌تر شوند. مدار فشرده‌تر اثرات گرانشی قوی‌تری ایجاد می‌کند و این به آن معنی است که پرتوهای ایکس بیشتری از اتم‌های آهن به انرژی‌های کمتر منتقل می‌شوند.

داخلی‌ترین مدار پایدار دایره‌ای





رصدخانه Constellation-X ناسا دست‌کم می‌تواند از چهار تلسکوپ پرتو ایکس در کنار هم استفاده کند. اندازه‌گیری‌های حاصل حساسیتی ۱۰۰ برابر رصدخانه پرتو ایکس چاندرا یا ماهواره‌ی نیوتن XX-M دارد که هر دو در حال حاضر در مدارند. اگر امسال بودجه‌ی این مأموریت تأمین شود در سال ۲۰۱۷ پرتاب می‌شود.

رینولدز می‌گوید: «اگر مسئله‌ی غافلگیرکننده‌ی بزرگی در کار باشد اگر اینشتین اشتباه کرده باشد، یک طریقه‌ی پی‌بردن به آن پیش بردن کار این اندازه‌گیری‌های مربوط به چرخش است». اخترشناسان می‌گویند که رصدخانه‌ی پیشنهادی ناسا، X-Constellation، توان تفکیک مورد نیاز برای مورد آزمون قرار دادن نظریه‌ی نسبیت را در اختیار قرار خواهد داد.

همزمان، اندازه‌گیری دقیق چرخش ممکن است خود قضیه «بدون مو بودن» سیاهچاله‌ها را حمایت کند. آن‌طور که نارایان توضیح می‌دهد، اگر چندین روش پاسخ‌های یکسانی را به دست دهند، اعتبار این تصور را که جرم و چرخش همه چیز را درباره‌ی یک سیاهچاله مشخص برای اخترشناسان معین می‌کنند، تأیید می‌کند. این ایده بسیار جالب توجهی است. مک‌کلینتاک می‌گوید: «هرچیز دیگری را در طبیعت که ممکن است بخواهید توصیف کنید در نظر بگیرید. برای مثال یک دانه‌ی ساده نمک را؛ تریلیون‌ها عدد لازم است تا مکان همه‌ی اتم‌ها و همه‌ی حالت‌های اتمی مشخص شود.

یا چشم‌انداز دوری از زمین را در نظر بگیرید. از فاصله‌ی دور، تنها چیزی که می‌توانید مشخص کنید، تنها چیزی که مهم است، جرم سیاره است، اما هرچه نزدیک‌تر می‌روید، اقیانوس‌ها، کوه‌ها، درختان و انسان‌ها را می‌بینید که در آن صورت به فهرست بلندبالایی از اعداد نیاز خواهید داشت تا همه اینها را توصیف کنید.» اما سیاهچاله‌ها متفاوت‌اند. ما هرگز نمی‌توانیم آنها را مستقیماً ببینیم. آنها خود را به طور غیر مستقیم به ما می‌شناساند، از طریق تأثیراتی که به گرانش قوی آنها و چرخش سریعشان مربوط است. جرم و چرخش سیاهچاله‌ها دانشمندان را به عمق اسرار این اجرام نزدیک می‌کند. \*

ترجمه: کیارا عباس زاده اقدم  
برگرفته از: Astronomy, November 2007

سیاهچاله‌هایی که جت تولید می‌کنند اندازه‌گیری چرخش صورت دهیم. آنگاه همه‌ی این سیاهچاله‌ها را که با سرعت‌های مختلفی می‌چرخند بررسی کرده، توزیع انرژی جت را مورد بررسی قرار دهیم و تلاش کنیم الگویی بیابیم. و خبر خوب اینکه به گفته‌ی میر ممکن است به زودی قادر باشیم این کار را انجام دهیم.

### جت‌ها و GRBها

فوران‌های پرتو گاما (GRB)ها، از زمانی که ماهواره‌ها در سال ۱۹۶۹ آنها را ردیابی کردند، چالش مشابهی را برای دانشمندان نظری ایجاد کرده‌اند. نظریه‌های اصلی و عملی امروزی می‌گویند که GRBها زمانی رخ می‌دهند که هسته‌ی ستاره‌های پرجرم فرو می‌ریزد و سیاهچاله‌هایی را ایجاد می‌کند که با سرعت زیاد می‌چرخند.

به گفته‌ی نارایان تا زمانی که اندازه‌گیری‌های اخیر در مورد اجرامی مثل GRS۱۹۱۵ یا MCG-۶-۳۰-۱۵ صورت نگرفته بود «به طور قطع نمی‌دانستیم که چنین اجرامی وجود دارند. بر اساس چند داده‌ای که تاکنون جمع‌آوری کرده‌ایم، به نظر می‌رسد که سیاهچاله‌هایی که سرعت چرخش زیادی داشته باشند کاملاً معمول و متداول‌اند».

اخترشناسان همیشه فکر می‌کرده‌اند که ستاره‌های پرجرم باید هنگامی که فرو می‌ریزند چرخش سریعی داشته باشند، اما مدت‌های مدیدی فقط حدس و گمان در کار بود. در برخی مدل‌ها اکثر هسته‌های تکامل‌یافته ستاره‌ها آن قدر سریع نمی‌چرخند که بتوانند منبع انرژی جت‌های GRB باشند. اکنون سرانجام اندازه‌گیری‌هایی در اختیار است که اخترشناسان می‌توانند روی آنها کار کنند.

وقتی اخترشناسان نتایج تعداد زیادی از اندازه‌گیری‌های قابل اطمینان سرعت چرخش را گردآورده، ممکن است بتوانند به گونه‌ای نسبیت عام را آزمایش کنند که تاکنون انجام نشده است: یعنی، درون قوی‌ترین میدان‌های گرانشی عالم.

به وجود می‌آورد می‌تواند سمت‌گیری مرجعی به امواج الکترومغناطیسی بدهد. به گفته رینولدز، «اصولاً چرخش سیاهچاله خود را در قطبش نشان می‌دهد. با فرض اینکه قطبش منبع اولیه را بدانیم، که البته این قطبش اصلاً برای ما روشن نیست».

بزرگ‌ترین مشکل این روش آن است که باید از فضا انجام شود و درحال حاضر برای انجام مأموریتی فضایی که برای اندازه‌گیری پرتوهای ایکس قطبیده‌ی سیاهچاله طراحی شده باشد، حتی برنامه‌ای هم وجود ندارد. دانشمندان ناسا امیدوارند یک آشکارساز قطبش روی X-Constellation، رصدخانه‌ی پرتو ایکس نسل جدیدی که سازمان پیشنهاد آن را داده است، نصب کنند. اما آینده‌ی خود این پروژه نیز به طور قطع مشخص نیست. مک‌کلینتاک می‌گوید از آنجا که محاسبه‌ی سرعت چرخش پیچیده است «می‌خواهیم هر چهار شیوه مورد استفاده قرار گیرد» فرض‌های بسیاری در هر محاسبه وارد می‌شود و عدم قطعیت در مراحل مختلف کار به آن راه می‌یابد. «اما وقتی که از بیش از یک روش، جواب یکسانی گرفتید، خواهید دانست که به مقصود خود رسیده‌اید».

### فواید جنبی کار

اخترشناسان صرفاً به خود چرخش علاقه‌مند نیستند. آنها به این نتیجه رسیده‌اند که چرخش کلید حل بسیاری از معماهایی است که مدت‌ها مطرح بوده. برای مثال چرخش می‌تواند از نحوه‌ی تولد و رشد سیاهچاله‌ها به ما اطلاعاتی بدهد.

چنین اندازه‌گیری‌هایی همچنین می‌تواند به محققان کمک کند تا نظریه‌هایی را، که درباره‌ی چگونگی روی دادن پدیده‌هایی مثل جت‌های اخترفیزیکی و فوران‌های پرتو گاما وجود دارد، آزمایش کنند.

اینکه چه چیز موجب ایجاد جت‌های شدیدی می‌شود که از سیاهچاله‌ها به سمت بیرون جریان می‌یابد، دست‌کم سی سال است که به صورت معمایی باقی مانده است. راجر بلندفورده، اخترفیزیکدان دانشگاه استنفورد که از دهه‌ی ۱۹۷۰ این مسئله را بررسی می‌کرده است، توضیح می‌دهد که «سوالی که مدت‌ها مورد بحث بوده آن است که آیا انرژی جت‌ها و پدیده‌های دیگر از سیاهچاله نشأت می‌گیرد یا از قرص برافرازیسی». هرچند همه با نظر بلندفورده موافق نیستند، ولی وی معتقد است که منشأ چرخش سیاهچاله است. به گفته او سیاهچاله‌ی چرخان مثل یک «چرخ طیار عظیم عمل می‌کند که مقداری از انرژی آن گرفته می‌شود».

این نظریه از دید مک‌کلینتاک محتمل به نظر می‌رسد. او می‌گوید «شاید انرژی جت‌ها از چرخش شدید این سیاهچاله‌ها سرچشمه بگیرد، اما تا زمانی که اندازه‌گیری‌های مربوط به چرخش را انجام ندهد، ما قادر به امتحان این نظریه نخواهیم بود». به همین علت مک‌کلینتاک مصمم است که دست‌کم حدود بیست مقدار اندازه‌گیری‌شده و قابل اطمینان برای چرخش به دست آورد. GRS۱۹۱۵ مثال جالب توجهی است: جت مشهور آن ماده را با حدود ۹۲ درصد سرعت نور در فضا به پیش می‌راند و چرخش برآورد شده آن نزدیک به حد نظری است.

به گفته دیوید میر از آزمایشگاه جت پروپالشن واقع در پاسادانا، کالیفرنیا «باید برای تعداد بسیاری از