بسم الله الرحمن الرحیم

سیاه چاله‌ها

آشنایی با سیاه‌چاله‌ها در ۷ مرحله

نویسنده:

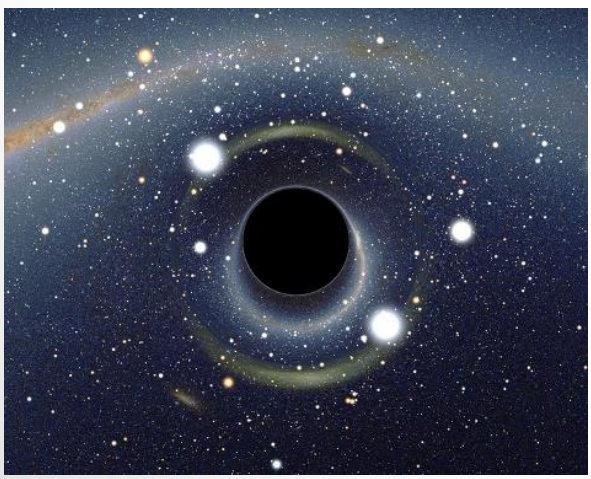
محمد همایونی

ستاره شناس

www.setareshenas.com

کارشناس و مدرس نجوم هستم. از سال ۱۳۶۸ به نجوم علاقه مند شده و بیش از ۲۰ سال است که آن را تدریس می کنم. هم اکنون موسس و مدیر وب سایت «**ستاره شناس**» هستم و اعتقاد دارم یک ستاره شناس این جهان را مکانی زیباتر برای زندگی می بیند.

«**محمد همایونی**»



همه ما عکس‌های زیادی از سیاه چاله‌ها را در فیلم‌ها یا عکس‌های مختلف دیده‌ایم ولی مطمئنیم که هیچ کدام از آن‌ها تصویر واقعی از یك سیاه چاله نیستند. هرچند که سیاه چاله‌ها مرموزترین اجرام کیهانی هستند ولی آن‌قدر هم در این عالم نادر و کمیاب نیستند؛ بلکه یقین داریم که سیاه چاله‌ها واقعا وجود دارند. بنابراین سوال ساده‌ای پیش می آید که آن‌ها چه چیزی هستند؟

۱- تشکیل یک سیاه چاله

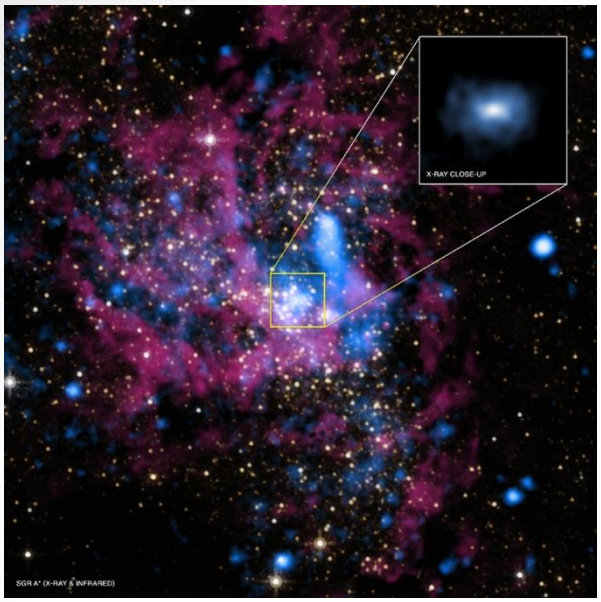
تقریبا هر ستاره‌ای که بیش از ۲۰ برابر خورشید جرم داشته باشد، در نهایت به یك سیاه چاله تبدیل می‌شود. یك ستاره در طول عمر اصلی خود سوخت هیدروژنش را مصرف می‌کند و با تبدیل آن به هلیوم، مقدار زیادی انرژی و گرما هم تولید می‌کند. هنگامی که این مخزن اصلی هیدروژن در هستهٔ ستاره تمام می‌شود، دوران اصلی زندگی ستاره آرام آرام به انتهای خود نزدیك می‌شود. پس از

آن ستاره چند مرحله را می‌گذارند که همراه با سوختن عناصر دیگر در هستهٔ ستاره است. در ستارگان بسیار سنگین، این مرحله‌ها به سرعت طی می‌شوند و براثر غلبهٔ نیروی بسیار قوی گرانش بر نیروی فشار تابشی؛ قسمت‌های داخلی ستاره بر روی مرکز فرومی‌ریزند و در نهایت منجر به یك انفجار بسیار شدید ستاره‌ای می‌شوند که آن را «انفجار ابرنواختری» می‌گوییم.

در اثر انفجار ابرنواختری، مقدار بسیار زیادی از مادهٔ ستاره به فضا پرتاب می‌شود و از ستاره فقط یك قسمت مرکزی با دمای بسیار زیاد باقی می‌ماند. اگر جرم این کرهٔ باقی مانده کمتر از ۳ برابر خورشید باشد فشار و تراکم آن به قدری زیاد است که الکترون‌ها با پروتون‌ها ترکیب شده و همهٔ حجم این کره به ذرات نوترون چسبیده به هم تبدیل می‌شوند: **ستارهٔ نوترونی**.

ولی اگر جرم آن هستهٔ باقی‌ماندهٔ بعد از انفجار بیش از ۳ برابر خورشید باشد، این نوترون‌ها هم نمی‌توانند در مقابل نیروی عظیم گرانش به سمت مرکز مقاومت کنند و بازهم این کره متراکم و کوچك‌تر می‌شود. این فشرده شدن باعث می‌شود شدت گرانش به قدری زیاد شود که این جسم به ناحیه‌ای تبدیل شود با گرانش فوق العاده عظیم که حتی نور هم نخواهد توانست از آن فرار کند. دقت کنید که این اتفاقات در بین ستارگان، بسیار طبیعی و نرمال هستند و تبدیل ستارگان خیلی بزرگ به سیاه چاله یك مرگ معمولی برای آن‌هاست. سیاه چاله‌های این چنینی که جرم‌هایی در حد جرم ستارگان دارند، فقط یك دسته از انواع سیاه چاله‌ها هستند. اما ... .

البته در مرکز کهکشان راه شیری، وضع به صورت دیگری است. یك سیاه چاله بسیار پرجرم در مرکز آن قرار دارد که ۴/۳ میلیون برابر خورشید جرم دارد! تراکم ستارگان در مرکز راه شیری بسیار بیشتر از نواحی بیرونی کهکشان است و طبیعتا جمعیت سیاه چاله‌های موجود در این منطقه هم باید بسیار بیشتر باشد. و احتمالا این سیاه چاله‌های زیاد در آن فضای متراکم، به هم برخورد کرده و باهم ترکیب شده‌اند تا آن سیاه چالهٔ بسیار پرجرم مرکزی را ساخته‌اند. این سیاه چالهٔ مرکزی در امتداد صورت فلکی قوس قرار دارد و آن را «A* قوس» نام گذاشته‌اند. از این گونه سیاه چاله‌های بسیار پرجرم فقط در مرکز اغلب کهکشان‌های بزرگ مارپیچی و بیضوی مشاهده شده‌اند و گمان اخترشناسان بر این است که سیاه چاله‌های ستاره گون (جرم–ستاره‌ای) یعنی همان دستهٔ اول، در نواحی بیرونی کهکشان توزیع شده‌اند.



۲- چرا سیاه چاله‌ها سیاه‌اند؟

سیاه چاله‌ها واقعا سیاه‌اند، چون هیچ نوری از سطح آن‌ها به بیرون راه پیدا نمی‌کند. این موضوع هم برمی‌گردد به اندازهٔ سرعت فرار در سطح سیاه چاله! سرعت مورد نیاز برای فرار از جاذبهٔ گرانشی یك جسم را «سرعت فرار» آن می‌گویند. این سرعت بستگی به جرم جسم و فاصله از آن دارد. به عنوان مثال برای آن‌که یك سفینهٔ فضایی بتواند از جاذبه زمین فرار کنند باید سرعت ۱۱/۲ کیلومتر بر ثانیه به دست آورد.

اما در مورد سیاه چاله‌ها موضوع خیلی فرق دارد؛ چرا که در آن‌ها مقدار بسیار زیاد ماده در یك فضای بی‌نهایت کوچك متراکم شده و نیروی گرانش فوق العاده عظیمی را ایجاد کرده است. این گرانش به قدری زیاد است که سرعت فرار در مجاورت آن‌ها بیشتر از سرعت نور خواهد بود. از این رو نه تنها ذرات ماده، بلکه فوتون‌های نور هم نخواهند توانست از سطح سیاه چاله فرار کنند و بنابراین هیچ نوری از سطح آن خارج نخواهد شد و واقعاً یك سیاه چاله تاریك و سیاه خواهد بود.

www.setareshenas.com

البته توصیف دقیق‌تر آن بر اساس تئوری نسبیت عام این است که مقدار جرم یك جسم و تراکم آن در یك منطقه از فضا باعث ایجاد انحنا در ساختار فضا–زمان می‌شود. مقدار این انحنا و خمیدگی نشان دهندهٔ شدت نیروی گرانش جسم مورد نظر در آن منطقه است. هر چقدر که جرم جسم و تراکم آن در فضا بیشتر باشد، مقدار این خمیدگی و انحنای فضا–زمان هم بیشتر خواهد بود. سیاه چاله به قدری جرم متراکم در خودش دارد که باعث می‌شود فضا–زمان در یك نقطه بر روی خودش بپیچد. از طرفی پرتوهای نور هم در حرکت خود مقید هستند که در ساختار فضا–زمان حرکت کنند؛ بنابراین پرتوهای نور هم هرگز نخواهند توانست از قید انحنای شدید چنین فضا–زمان خمیده‌ای خارج شوند. و این یعنی سرعت فرار بیش از سرعت نور شده است.

۳- ساختار یک سیاه چاله:

اما به سراغ داخل این اجرام مرموز کیهانی می‌رویم، از درون آن‌ها چه اطلاعی داریم؟ از آن داخل چه خبر؟

با مطالعهٔ سیاه چاله‌ها پی می‌بریم که هر سیاه چاله از سه ناحیه فعال ساخته شده است: ۱– تکینگی ۲– افق رویداد ۳– ارگوسفر (کارکره). ناحیه سوم مخصوص سیاه چاله‌های چرخان است، و اگر سیاه چاله‌ای چرخان نباشد، آن را ندارد. البته چون ستارگان در حال چرخش هستند، پس سیاه چاله‌ای هم که از آن ایجاد می‌شود حتما چرخان خواهد بود.

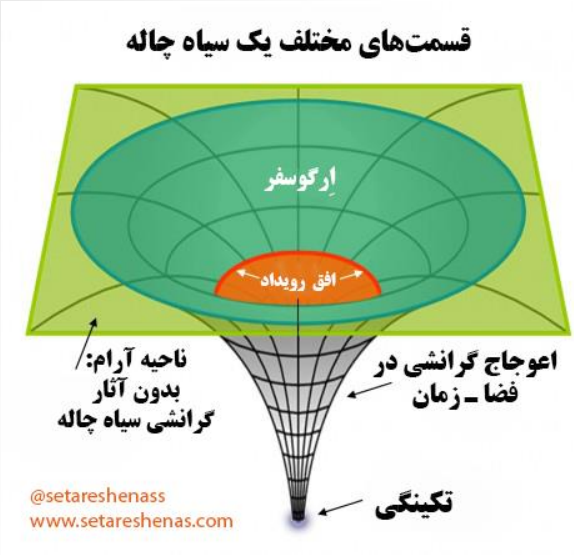
۱. تکینگی:

ماده و امواج الکترومغناطیسی در مجاورت سیاه چاله به داخل آن مکیده می‌شوند. هرچه به آن نزدیك‌تر شوند، نیروهای گرانشی هم قوی‌تر می‌شوند. البته این قدرت جاذبه همزمان با مکش بیشتر، زیادتر هم می‌شود. اما سوال مهم این است که این مواد به کجا می‌روند؟

نقطه‌ای را که مواد مکیده شده به آن وارد می‌شوند «تکینگی» می‌گویند که در حال حاضر فقط یك توصیف نظری بر اساس معادلات فیزیك و ریاضی از آن‌ها در دست داریم. به وسیلهٔ معادلاتی که دانشمندان در اختیار دارند، می‌توانند موقعیت این نقطه و شرایط حاکم بر آن را توصیف کنند. البته به صورت ریاضی، چرا که ما شاهدی فیزیکی و تجربی از درون تکینگی در دست نداریم. همهٔ معادلات ریاضی و فیزیکی، ویژگی‌های این نقطه را در قالب «بی‌نهایت» توصیف می‌کنند، مانند کوچکی بی‌نهایت و چگالی بی‌نهایت و انحنای بی‌نهایت!

www.setareshenas.com

تکینگی موجودیتی عجیب دارد، زیرا عبارت است از جسم یا وجودی در طبیعت که ماده و انرژی در یك «نقطه» متراکم شده‌اند! و ازین‌رو خواص اعجاب انگیز و دور از ذهنی هم خواهد داشت.



۲. افق رویداد و شعاع شوارتزشیلد:

افق رویداد یك سطح است، سطحی مرزی که دیگر از آن نوری خارج نمی‌شود. در حقیقت هویت یك سیاه چاله با افق رویدادش مشخص می‌شود، این سطح ناحیهٔ تاریکی در فضا را مشخص می کند که سرعت فرار در این سطح از سرعت نور بیشتر است. به طور معمول هم اصطلاح «سیاه چاله» را به این منطقه از فضا می گویند. هر چیزی (چه ذرات مادی و چه فوتون‌های نور) که به این سطح مرزی برسد، دیگر نمی‌تواند از آن فرار کند و به ناچار به داخل تکینگی کشیده می‌شود. فاصله بین تکینگی تا افق رویداد را شعاع شوارتزشیلد می‌نامند. اندازهٔ این شعاع هم بزرگی سیاه چاله را مشخص می کند که ارتباط مستقیم دارد با جرم موجود در سیاه چاله. پس اگر سیاه چاله‌ای در حال مکیدن ماده به درون خود باشد، دائما اندازه‌اش هم بزرگتر خواهد شد.

۳. ارگوسفر (کارکره):

اِرگوسفر ناحیه‌ای است در اطراف افق رویداد که نیروی گرانش شروع به تحت تأثیر قرار دادن حرکت اشیاء نزدیك می کند. مواد و اجسامی که در این ناحیه باشند، دیگر نمی‌توانند در مدت طولانی به حالت پایدار در فضا باقی بمانند. با توجه به فاصله بین جسم و افق رویداد، شدت نیروی گرانش می‌تواند بسیار زیاد یا ضعیف باشد. در نزدیکی افق رویداد که سرعت فرار به سرعت نور نزدیك می‌شود، شدت نیروی گرانش باعث خرد شدن اجسام شده و سرانجام مواد آن‌ها را به داخل سیاه چاله فرو می کشد.

در فاصله‌های دورتر از ارگوسفر، عملا اثرات خاصی مشاهده نخواهد شد و می‌توان آن‌جا را ناحیهٔ امن نام گذاشت. اجسامی هم که در محدودهٔ ارگوسفر قرار بگیرند، در صورتی که بتوانند به سرعتی بالاتر از سرعت فرار در آن ناحیه برسند، خواهند توانست از قید آن فرار کنند.

تئوری نسبیت عام پیش بینی می‌کند که هر جسم چرخانی فضا–زمان اطرافش را به همراه خود می‌پیچاند. و همین ویژگی باعث می‌شود تا ارگوسفر فقط ویژه سیاه چاله‌ها نباشد و اطراف هر جسم معمولی کیهانی نظیر زمین، سیارات و ستارگان هم وجود داشته باشد. ولی ویژگی‌های سیاه چاله خیلی عجیب و غریب است!

٤- اندازه سیاه چاله:

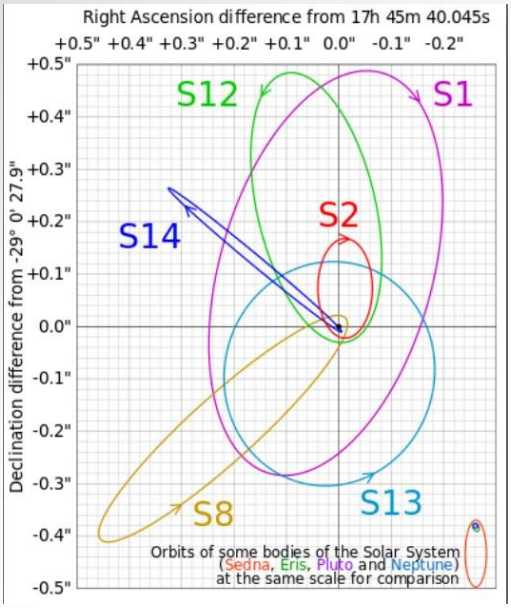
همان‌طور که در بحث گذشته مورد توجه قرار گرفت، سیاه چاله به عنوان ناحیه‌ای در درون افق رویداد در نظر گرفته می‌شود. با توجه به محاسبات تئوری و نتایج رصدی، اگر یك سیاه چاله ۱۰ برابر خورشید جرم داشته باشد، شعاعی حدود ۳۰ کیلومتر خواهد داشت، درحدود اندازه یك سیارك. این نشان می‌دهد که سیاه چاله‌ها اجسام بسیار کوچکی هستند. البته سیاه چاله‌های بسیار پرجرم در مرکز کهشکان‌ها به نسبت از این اندازه بزرگترند، ولی بازهم در مقابل اندازهٔ اجسام کیهانی، خیلی کوچکند. مثلا تخمین زده شده که افق رویداد سیاه چالهٔ «A* قوس» در حد مدار سیاره عطارد باشد. ولی تصور می‌شود ارگوسفر فعال آن ۱۰ روز نوری قطر دارد.

٥- چگونه می‌توانیم یک سیاه چاله را آشکار کنیم؟

به چند روش می‌توان وجود سیاه چاله را آشکار کرد که عبارتند از:

۱. حرکت اجرام مجاور:

با توجه به جذب کامل نور توسط سیاه چاله، غیرممکن است که بتوان آن را به صورت مستقیم مشاهده کرد. همانطور که نمی‌توانیم باد را مستقیما مشاهده کنیم ولی از حرکت و جنبش برگ

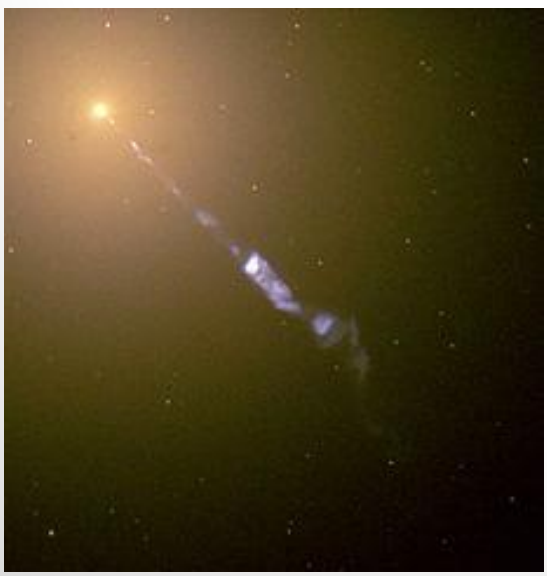


درختان پی به حضور باد می‌بریم. جرم زیاد سیاه چاله‌ها هم باعث می‌شود که بتوانیم اثراتی را که بر حرکت اجسام مجاورش می‌گذارد مشاهده کنیم و از این طریق وجودش را اثبات کنیم.

پژوهشگران زیادی از سال ۱۹۹۸ میلادی شروع به جمع آوری اطلاعات مداری ۹۰ ستاره‌ای که در همسایگی «*A قوس» قرار دارند، کردند و توانستند مسیر حرکت و نحوهٔ حرکت‌شان را به دور یك نقطهٔ مشترك در فضا مشخص کنند. با استفاده از قوانین مداری کپلر، و به کار بردن این داده‌ها توانستند اطلاعات دقیقی از موقعیت و جرم آن سیاه چاله مرکزی کهکشان راه شیری را به دست آورند.

۲. تابش‌های اشعه X:

همان‌طور که مواد میان ستاره‌ای به سوی یك سیاه چاله کشیده می‌شوند، شتاب می‌گیرند. و هر چه به سیاه چاله نزدیك‌تر می‌شوند، این شتاب بیشتر و بیشتر می‌شود. از طرفی همین شتاب باعث می‌شود که دمای آن‌ها بالا رود.



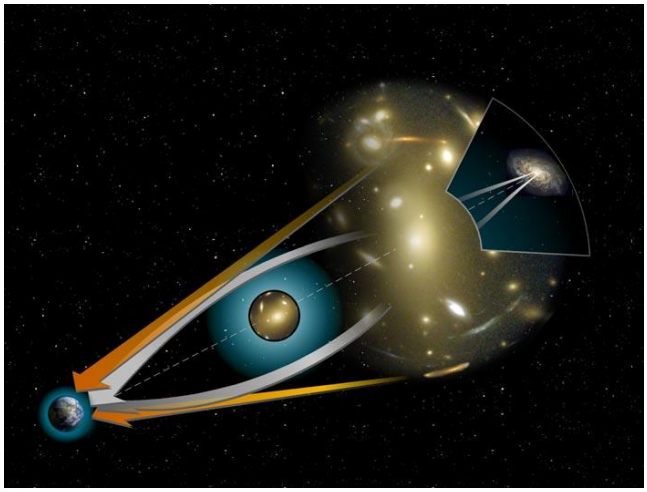
این افزایش دما به قدری زیاد می‌شود که این گازها به دماهای چندین میلیون درجه سانتیگراد (کلوین) می‌رسند و یونیزه می‌شوند. ذرات این گازها یونیزه به علت شتاب و گرمای بسیار زیادی که دارند، از خود پرتوهای ایکس قوی تابش می‌کنند. این وضعیت را به دو طریق می‌توانیم آشکار کنیم: یا به کمك تلسکوپ‌های پرتو ایکس به صورت مستقیم مشاهده

www.setareshenas.com

کنیم، یا به کمك اجسامی که این پرتوهای ایکس آن‌ها را برانگیخته کرده و در حال تابشند. معمولا این آثار را به صورت خروج دو جت قدرتمندِ مواد و پرتوها از دو قطب آن محدوده رصد می کنیم.

به طور معمول این جت‌های پرتوی ایکس برای یك سیاه چاله ثابت و پایدار نیستند. زیرا تغذیهٔ یك سیاه چاله کاملا تصادفی است و وابسته به مقدار ماده‌ای است که به ارگوسفر آن وارد می‌شود. سیاه چاله مرکزی راه شیری، اکنون خیلی آرام است زیرا بیشتر ماده‌ای که در مجاورت آن قرار دارد جذب آن شده و عملا ماده زیادی در نزدیکی آن نیست تا آن را ببلعد. اما دیگر کهکشان‌ها در این مورد بسیار فعالند و تابش‌های ایکس قوی از هستهٔ آن‌ها آزاد می‌شود. یکی از معروف‌ترین آن‌ها هستهٔ کهکشان M۸۷ است. (تصویر بالا)

۳. لنزهای گرانشی:



بر اساس تئوری نسبیت عام، سیاه چاله هم مانند هر جسم جرم دارِ دیگری، فضا-زمان اطراف خود را خمیده می کند. اما چون در این اجسام مقدار بسیار زیادی ماده در یك فضای بسیار کوچك فشرده شده است، پس اثر بسیار قدرتمندی را بر روی ساختار فضا-زمان و خمیدگی آن می گذارد. اگر یك سیاه چاله در کنار مسیر نور یك جسم دورتر قرار داشته باشد، می‌تواند موجب ایجاد یك لنز گرانشی برای تصویر آن جسم دوردست شود و از این طریق می‌توان به وجود سیاه چاله پی برد. ولی از آن جهت که سیاه چاله‌های ستاره گون (جرم-ستاره‌ای) حجم فعال بسیار کوچکی در فضا دارند، عملا شاید بتوان سیاه چاله‌های بسیار پرجرم را از این طریق آشکارسازی کرد.

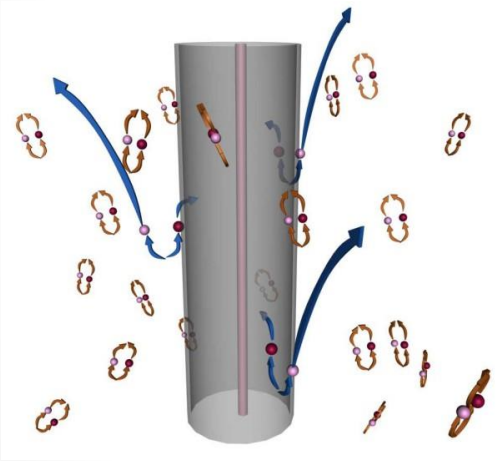
اولین تصویر این مقاله هم نشان دهندهٔ اثر لنز گرانشی‌ای است که یك سیاه چالهٔ فرضی می‌تواند از تصویر اجسام دوردست ایجاد کند. البته این یك تصویر هنری است.

٦- وضعیت جهان در تکینگی:

از نظر ریاضی، تکینگی عبارت است از شرایطی که معادلات موجود نمی‌توانند نتایج معتبری را ارائه دهند. معادلات فعلی ما که بر اساس تئوری نسبیت عام بنا شده‌اند نمی‌توانند توصیف موفقی از شرایط تکینگی را ارائه دهند. زیرا معادلات و مقیاسی که در نسبیت عام به کار می‌روند در حد ابعاد و اندازه‌های بسیار بزرگ عالم است ولی تکینگی یك ویژگی بسیار کوچك کوانتومی است. بنابراین شاید مکانیك کوانتومی بتواند آن را توصیف کند، ولی هنوز پل ارتباطی مناسبی بین این دو نظریه برای توصیف ویژگی‌های تکینگی پیدا نشده است.

٧- تابش سیاه چاله و نابودی آن!

نکته‌ای جالب وجود دارد که **استیفن هاوکینگ** به کمك معادلهٔ تابش خودش نشان داد که در واقع سیاه چاله‌ها می‌توانند انرژی از خود تابش کنند (یك چیز بسیار عجیب!). محاسبات هاوکینگ پیش بینی می‌کنند که بر اثر این تابش‌های کوانتومی، انرژی سیاه چاله در گذر زمان کاهش می‌یابد و به تبع آن از جرم آن هم کم خواهد شد. به عبارتی پس از گذشت زمان لازم، سیاه چاله‌ها تبخیر خواهند شد و به صورت ابدی نخواهند ماند. البته این زمان بسیار بسیار زیاد است.



عکس فوق شمایی است از مکانیزم تابش هاوکینگ در جوار افق رویداد یك سیاه چاله در گذر زمان.

این مقاله مخصوص اعضای ویژه در سایت ستاره شناس است؛ و استفاده در جای دیگر خلاف رضایت نویسنده آن است.

در بخش اعضای ویژه به مقالات ویژه و آموزش‌های دنباله‌دار نجوم دسترسی خواهید داشت

www.setareshenas.com