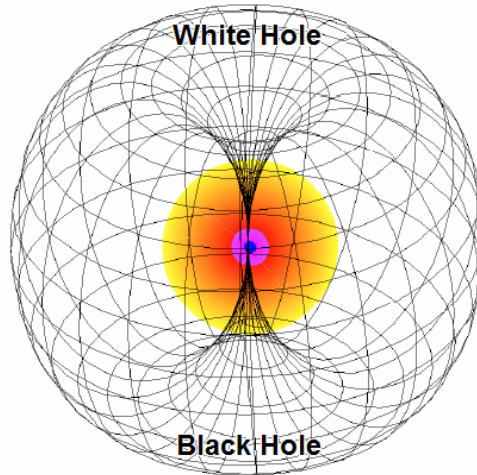


مفهوم ماده در تراکم‌های بسیار بالا

سفیدچاله، کرمچاله، سیاهچاله



White hole, Wormhole, Black hole¹

چکیده:

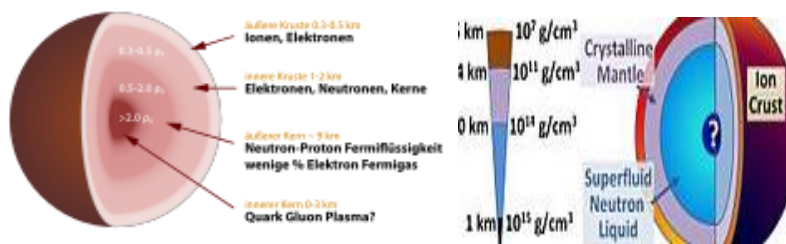
تراکم بسیار بالای ماده در بخش‌هایی از کیهان باعث شکل‌گیری فرم‌ها و حالت‌های نامتعارف ماده مانند سیاهچاله‌ها می‌شود. این نوع فرم‌ها و حالت‌های نامتعارف ماده را می‌توان با یاری مفهوم‌های ماده^۱، پادماده^۲ و ماده منفی^۳ و علم اختر فیزیک (astrophysics) - شاخه‌ای از فیزیک که ماهیت اجرام کیهانی مانند ستارگان و کهکشان‌ها را با اصول فیزیک و شیمی بررسی می‌کند - مطالعه کرد. نحوه‌ی شکل‌گیری و عملکرد فرم‌ها و حالت‌های نامتعارف ماده موضوع پژوهش روز است. به‌همین خاطر در حال حاضر بحث جامع در باره‌ی آن‌ها میسر نیست. با این حال نتایج علمی بدست‌آمده تاکنون از چنان دامنه‌ی وسیعی برخوردار است که لازم می‌نماید در اظهار نظرهای علمی و فلسفی در نظر گرفته شوند. به‌ویژه به این خاطر که دانش بشر از گیتی که در طول هزاران سال گذشته بدست‌آورده است محدود به بخش قابل رؤیت آن و از طریق امواج الکترومغناطیسی به اصطلاح "بینائی" می‌شود. اما این بخش تنها کمتر از ۵ درصد کیهان را شامل می‌شود. در مقابل بخش غیر قابل رؤیت کیهان، بیش از ۹۵ درصد، هنوز بطور عمده ناشناخته شده است. برای کسب اطلاع از این بخش بزرگ لازم است از روش‌های جدید، به‌ویژه روش متکی به امواج گرانشی که در سال‌های اخیر با موفقیت بکار گرفته شده است، بهره‌جوییم.

در این مقاله می‌خواهم ابتدا به ستارگان نوترونی، یکی از فرم‌ها و حالت‌های نامتعارف ماده در تراکم بسیار بالا، که نسبتاً "ساده" با یاری نظریه نسبیت عام و فیزیک کوانتوم قابل توضیح و برای آشنائی اولیه با موضوع مقاله سودمند است بپردازم و در ادامه مفهوم‌های سیاهچاله، سفیدچاله و "فضای" میان این دو، یعنی مفهوم کرمچاله، را توضیح دهم. از آنجا که داده‌ها عمدتاً در باره‌ی سیاهچاله‌ها و کمتر در باره‌ی سفیدچاله‌ها و یا کرمچاله‌ها هستند، طبیعتاً توضیحات مقاله نیز بیشتر از آن سیاهچاله‌ها می‌باشد. لازم است متذکر شوم که در این مقاله دانسته به مسائل نظری سیاهچاله‌ها مانند نظریه نسبیت عام، دینامیک سیاهچاله‌ها، مکانیسم هم‌جوشی سیاهچاله‌ها، ترمودینامیک و آنتروپی سیاهچاله‌ها پرداخته نمی‌شود.

ستارگان نوترونی:

ستارگان نوترونی (Stellar black hole) به ستارگانی گفته می‌شود که عمدتاً از ذرات نوترون تشکیل شده‌اند. نوترون‌ها ذراتی هستند با بار الکتریکی خنثی. این ذرات و ذرات پروتون، با بار الکتریکی مثبت، هسته‌ی اکثر اتم‌ها، عناصر شیمیائی، را تشکیل می‌دهند. ستارگان نوترونی حالت نهائی فرگشت ستارگان پرجرم هستند. به عبارت دیگر، ستارگان نوترونی

هسته‌ی فروپاشی شده‌ی ستارگان بزرگ می‌باشند. ستارگانی که جرمی مساوی با ۸ تا ۲۹ برابر جرم خورشید را دارند. این ستارگان در طول پروسه‌ی فروپاشی تا رسیدن به مرحله‌ی ستاره نوترونی عمده‌ی جرم خود را از دست می‌دهند و هسته‌ی مرکزی آن‌ها طبق مدل‌های موجود حدود ۱,۴ تا ۳ برابر جرم خورشید را دارد. چنانچه جرم هسته‌ی مرکزی بیش از ۳ برابر جرم خورشید باشد نتیجه‌ی فروپاشی ستاره یک سیاهچاله خواهد بود. ستارگان نوترونی کشف شده تاکنون، نزدیک به دوهزار ستاره، حدود ۱,۲ تا ۲ برابر جرم خورشید را دارند. این ستارگان به‌خاطر شعاع بسیار کوچک‌شان، حدود ۱۰,۴ تا ۱۲ کیلومتر، بسیار متراکم هستند. یعنی، دارای چگالی بسیار بالا حدود یک میلیاردکیلوگرم در یک مترمکعب در لایه‌های فوقانی که با نزدیکتر شدن به مرکز آن تا هشتصد هزار میلیونمیلیاردکیلوگرم در یک مترمکعب (تصویر ۲ و ۳) می‌رسد! دمای ستارگان نوترونی حدود صد میلیون دکلویین است. ستارگان نوترونی متراکم‌ترین اجرام کیهانی عاری از افق رویداد می‌باشند. این نوع ستارگان بسیار سریع، تا هفصد دور در ثانیه، دور خود می‌چرخند و میدان مغناطیسی بسیار قوی‌ای را شکل می‌دهند.^۶



تصویر ۳: ساختار ستاره‌ی نوترونی^۸

تصویر ۲: توزیع چگالی^۷

ستارگان دیگری هم وجود دارند که جرم آن‌ها بیش از حدود ۴۰ برابر جرم خورشید است. جرم هسته‌ی مرکزی این نوع ستارگان، پس از طی فاز انفجاری بزرگی به نام **ابرنواختر**، بیش از ۲,۵ برابر جرم خورشید است. این جرم، فرم و حالت خاصی از ماده‌ی نامتعارف را تشکیل می‌دهد که به آن به دلایلی که در زیر توضیح داده می‌شود سیاهچاله می‌گویند.^۶

ستارگانی که تا ۱۵ برابر جرم خورشید را دارند ولیکن در پایان پروسه‌ی ابرنواختری جرم هسته‌ی مرکزی آن‌ها تنها ۱,۵ تا ۲,۵ برابر جرم خورشید است به ستارگان نوترونی تبدیل می‌شوند. ستارگان نوترونی می‌توانند در موقعیت‌های فضازمانی خاصی با جذب ماده‌ی اطراف خود به سیاهچاله تبدیل شوند، با شعاعی حدود ۳۰ کیلومتر.

در ۱۴ سپتامبر ۲۰۱۵ و برای اولین بار در تاریخ بشر، فیزیکدان‌ها موفق شدند همجوشی دو سیاهچاله با جرم‌های حدودا ۲۹ و ۳۶ برابر جرم خورشید را از طریق امواج گرانشی تولید شده که منجر به شکل‌گیری یک سیاهچاله بزرگتر با جرم ۶۲ برابر جرم خورشید شد مشاهده کنند. مقدار جرمی که در برخورد این دو سیاهچاله باهم در کسری از چند ثانیه به انرژی بدل شد معادل تقریبا ۳ برابر جرم خورشید بود. انرژی ساطع شده به فضا معادل ۵۰ برابر کل انرژی الکترومغناطیسی گسیلی از کیهان قابل رؤیت بود. طنین این روخداد ۲۵ صدم ثانیه‌ای پس از ۱,۳ میلیارد سال به زمین رسید. طول موج نوسان مشاهده شده برابر بود با یک هزارم قطر ذره‌ی پروتون. یک قرن پیش از این موفقیت، آلبرت اینشتین امواج گرانشی را بطور نظری پیش‌بینی کرده بود. کشف امواج گرانشی به‌معنای گشودن پنجره‌ی تازه‌ای به کیهان و آغاز عصری جدید در تاریخ علم، در تاریخ بشر است.^۹

فرایند تبدیل ستارگان پُر جرم به ستارگان نوترونی را می‌توان بطور خیلی کوتاه و کلی چنین توصیف کرد:

تا زمانی که پروسه‌ی سوخت هسته‌ای در این ستارگان، یعنی همجوشی اتم‌ها به‌ویژه اتم‌های هیدروژن بر اثر فشار و دمای بسیار بالای درون ستاره به اتم‌های هلیوم همراه با تولید عناصر شیمیایی دیگر و انرژی از جمله نور، جاری است، نیروی‌های مخالف جهت نیروی گرانشی مانع از تاثیرگذاری این نیرو برای ریزش، رمبیدن، جرم ستاره بسوی مرکز آن می‌شوند. اما با گذشت زمان به‌خاطر انرژی‌زایی ستاره و با آن افت فشار و دمای آن سوخت هسته‌ای تضعیف می‌شود. در نتیجه توازن میان نیروها بسود نیروی گرانشی بهم می‌خورد و به این ترتیب مرحله‌ی جدیدی با غلبه‌ی رو به افزون نیروی گرانشی آغاز و سرنوشت آتی و نهائی ستاره رقم می‌خورد. یعنی، از این زمان به‌بعد ستاره وارد فاز پایانی خود می‌شود و بمرور توانش را برای حفظ جرم خود، لایه‌های بیرونی، از دست می‌دهد. در طول این فرایند بخش عمده‌ی جرم ستاره به بیرون پرتاب می‌شود. فرایندی که بسیار مطلوب ماست، چرا که در این مرحله عناصر شیمیایی تولید شده در داخل این نوع ستارگان، عناصری مانند کربن و اکسیژن، به بیرون پرتاب شده و به این ترتیب مواد لازم برای شکل‌گیری حیات را مهیا می‌کنند. بدون این عناصر حیات قابل تصور نیست. از این‌رو بدرستی گفته و نوشته می‌شود که ما از جنس و محصول ستارگان هستیم.

با افت فشار اشعه، بخشی از جرم ستاره به روی هسته‌ی آن فرومی‌ریزد. ازدیاد نیروی گرانشی باعث فشرده شدن و تراکم هرچه بیشتر هسته‌ی ستاره می‌شود. تراکم بسیار بالای جرم در این حالت از دیاد دما و تولید اشعه، عمدتاً اشعه رنتگن با انرژی بالا، را سبب می‌گردد. این انرژی امکان تجزیه‌ی هسته‌های عنصر آهن، حاصل از پروسه‌های فیزیکی و شیمیایی ستاره، را به ذرات نوترون و پروتون به‌وجود می‌آورد و در ادامه پروتون‌ها نیز با الکترون‌های موجود بهم‌آمیخته تبدیل به ذرات نوترون می‌شوند و در نهایت ستاره‌ی نوترونی شکل می‌گیرد.^{۱۰}

احتمال داده می‌شود که در ستارگان نوترونی، به دلیل تراکم بسیار بالای جرم، ماده در شکل نامتعارف، ماده‌ی منفی^۴، وجود داشته باشد. برای روشن کردن این مطلب شناخت از شعاع و جرم هسته‌ی ستاره‌ی فروپاشی شده، برای تعیین فشار درونی آن، ضروری است. پژوهش‌های انجام گرفته تاکنون هسته‌ی مرکزی آن‌ها را تشکیل شده تنها از ذرات نوترونی نشان می‌دهد.

در پایان این بخش نگاه کوتاهی داریم به سرنوشت خورشید و ستارگان مشابه. در این‌باره در مقاله‌ی 'پیوندی در غیاب ما - تلنگری به اندیشیدنمان'^{۱۱} چنین توضیح داده‌ام:

"خورشید یکی از میلیاردها ستاره کوچک و بزرگ کهکشان راه شیری است، با جرم متوسط. خورشید مانند اغلب ستارگان عمدتاً از عنصر هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است. دمای سطح آن حدود ۶۰۰۰ درجه سانتیگراد است. در داخل آن دمایی برابر با ۱۵ میلیون درجه سانتیگراد و فشار فوق‌العاده بالا حاکم است. تحت این شرایط، همجوشی عنصر هیدروژن به عنصر هلیوم صورت می‌گیرد و باعث شعله‌ور شدن خورشید می‌گردد. با گذشت زمان عنصر هلیوم در مرکز خورشید جمع و باعث چگالی و فشار بیشتری می‌شود. در نتیجه خورشید گرم‌تر، روشن‌تر و شعله‌ورتر می‌شود. چنین فرایندی باعث شده است که خورشید از زمان بوجود آمدنش در ۴,۶ میلیارد سال پیش تاکنون حدود ۴۰ درصد روشن‌تر باشد. روشنایی بیشتر خورشید به معنای گرم‌تر شدن سیاره ماست. با یک محاسبه ساده می‌توان نشان داد که خورشید حدود یک میلیارد سال دیگر ۱۰ درصد روشن‌تر از حالا خواهد بود. در نتیجه زمین چنان گرم می‌شود که تمام قاره‌های آن کویری بیش نخواهند بود. بهر حال زمانی هم می‌رسد که خورشید عمده‌ی انرژی خود را از دست داده است. در این‌صورت آنچه از آن باقی می‌ماند خود را به‌شکل یک کوتوله‌ی سفید نمایان خواهد کرد؛ مانند بسیاری از ستارگان دیگر که ما اکنون آن‌ها را بصورت کوتوله‌های سفید مشاهده می‌کنیم."^{۱۱}

سیاه‌چاله:

تعریف سیاه‌چاله:

سیاه‌چاله یا حفره‌ی سیاه به ناحیه‌ای از فضا مان گفته می‌شود که از ماده‌ی بشدت بهم‌فشرده تشکیل شده و نیروی گرانشی آن چنان بالاست، یعنی انحنای فضا زمان آن چنان شدید است، که امکان گریز هیچ چیز حتی نور را نمی‌دهد. مرز بیرونی این ناحیه افق رویداد (event horizon) نامیده می‌شود. افق رویداد منطقه‌ی اطراف سیاه‌چاله و مرز غیرقابل نفوذ از داخل حفره‌ی سیاه به بیرون است. گرچه چنان نواحی سیاه و لذا نامرئی هستند اما کنش و واکنش گرانشی آن‌ها با ماده پیرامون خود خبر از موجودیت آن‌ها می‌دهد. کمیت بارز و تعیین کننده‌ی سیاه‌چاله‌ها چگالی بسیار بالای آن‌هاست و نه الزاماً جرم زیاد.

طبق فیزیک کوانتوم در نزدیکی افق رویداد ذرات و پادذرات^۲ شکل می‌گیرند. ذرات و پادذراتِ بوجود آمده در دو جهت مخالف، یکی به درون سیاه‌چاله و دیگری به بیرون از افق رویداد حرکت می‌کنند.

بنابر نظریه‌ی استفن هاوکینگ امکان تبخیر محتوای سیاه‌چاله‌ها توسط اشعه، اشعه حرارتی که به آن اشعه هاوکینگ نیز گفته می‌شود، وجود دارد. در صورت تایید این نظریه معنای آن این خواهد بود که ۱. سیاه‌چاله‌ها به‌شکل ایده‌آل سیاه نیستند و ۲. آن‌ها جرم خود را در طول زمان بسیار طولانی، بستگی به بزرگی جرم سیاه‌چاله دارد، از دست خواهند داد. هرچه سیاه‌چاله بزرگتر باشد تبخیر آن کندتر است. در ضمن بد نیست بدانیم که اصولاً جسم سیاه رنگ ایده‌آل وجود ندارد.

تاریخچه سیاه‌چاله:

این پرسش را که 'آیا نور جرم دارد یا خیر؟' می‌توان پرسشی برای آغاز تاریخ سیاه‌چاله‌ها دانست. چنانچه پاسخ مثبت باشد که هست، در این‌صورت طبیعتیست که نور هم مانند هر جرمی متاثر از میدان گرانشی اجرام دیگر باشد و اگر میدان گرانشی بسیار قوی باشد نتواند از آن میدان بگریزد.

در قرن ۱۷ دو نظریه در باره‌ی ویژگی‌های نور ارائه شدند. یکی از جانب نیوتن که نور را متشکل از ذرات (در نتیجه

جرمدار) می‌دید و دیگری از جانب هویگن که آن را در شکل امواج (بدون جرم) می‌پنداشت.

در سال ۱۷۸۳ میلادی زمین‌شناس و منجم آماتور انگلیسی R. J. Michell و در سال ۱۷۹۶ میلادی ریاضی‌دان، فیزیک‌دان و منجم فرانسوی P. S. Laplace بر این گمان بودند که در کیهان ستارگان خاموشی وجود دارند که نورشان به‌خاطر نیروی گرانشی بالای این ستارگان توان گریز از میدان آن‌ها را ندارند. لاپلاس این نوع ستارگان را اجسام تاریک (corps obscur) نامید.

در سال ۱۹۰۵ آلبرت اینشتین نظریه‌ی موجی - ذره‌ای بودن نور را ارائه کرد. آزمایش معروف به اثر فوتوالکتریک نظریه‌ی اینشتین را تایید نمود.

در بین سال‌های ۱۹۱۵-۱۹۱۷ آلبرت اینشتین پس از یک دهه تلاش موفق به ارائه سلسله‌مقالاتی در باره‌ی نظریه نسبیت عام شد. نظریه‌ای که برپایه تنها یک اصل، اصل هم‌ارزی، بنا شده است. نتایج منطقی ریاضی این نظریه‌ی بی‌همتا تحت نام معادلات اینشتین معروف هستند. نظریه نسبیت عام از جمله امکان بررسی و تشریح کل کیهان را به شیوه‌ی کلاسیک بوجود آورد.

در سال ۱۹۱۶ Karl Schwarzschild، فیزیک‌دان و اخترشناس آلمانی ۱۸۷۳-۱۹۱۶، موفق شد نخستین جواب دقیق معادلات دیفراسیالی اینشتین را برای یک حالت خاص و نسبتاً ساده پیدا کند - برای یک جسم کروی شکل متقارن، بدون چرخش و بدون بار الکتریکی. به‌خاطر ارائه کارهای با ارزش علمی او تعدادی از خواص سیاهچاله‌ها به نام شوارتزشیلد نامیده شده‌اند، مانند متریک شوارتزشیلد، شعاع شوارتزشیلد و یا تکینگی شوارتزشیلد (Schwarzschild singularity). شعاع شوارتزشیلد در رابطه با جرم و ثابت گرانش و سرعت نور تعریف می‌شود.

در سال ۱۹۳۸ با دستیابی به جواب‌های دیگر از معادلات اینشتین، مانند متریک ژورژ لومتر، شعاع شوارتزشیلد تایید فیزیکی بیشتری یافت.

در سال ۱۹۳۹ آلبرت اینشتین در مقاله^{۱۲} نشان می‌دهد که تکینگی شوارتزشیلد برای او هیچ معنای فیزیکی ندارد.

در سال ۱۹۵۸ دیوید فینکشتاین با استفاده از معادلات اینشتین و متریک ادینگتون - فینکشتاین معنای فیزیکی شعاع شوارتزشیلد و ناحیه داخلی آن را توضیح داد.^{۱۳}

در دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی پرسشی با فرض این‌که ناظری بیرون از یک سیاهچاله بتواند نزدیک شدن و افتادن فردی به سیاهچاله‌ای را شاهد باشد او این رویداد را به چه شکلی ملاحظه خواهد کرد و همچنین چنانچه آن فرد طبق قرار در فاصله‌های زمانی مساوی سیگنال‌هایی را ارسال نماید ناظر آن سیگنال‌ها را در چه فواصلی دریافت خواهد کرد مطرح شد. محاسبات ریاضی نشان دادند که ناظر نزدیک شدن فرد به افق رویداد را به‌شکل مجانب (asymptotically) در خواهد یافت و فواصل زمانی سیگنال‌ها را نه مساوی بلکه مدام با فاصله‌های بیشتری و حتی از یک مقطع زمانی معینی به‌بعد دیگر هیچ سیگنالی را دریافت نخواهد کرد.

در سال ۱۹۶۳ R. P. Kerr، ریاضیدان نیوزیلندی، کاشف متریک کر موفق شد جواب دقیقی برای معادلات دیفراسیالی اینشتین برای یک جسم پر جرم چرخنده بدون بار الکتریکی، برای مثال یک سیاهچاله‌ی چرخنده، ارائه کند.

در سال ۱۹۶۴ و برای اولین بار مقوله‌ی سیاهچاله از جانب Ann Ewing، روزنامه نگار علوم، بکار گرفته شد.

در سال ۱۹۶۶ J. B. Seldwitsch و I. D. Nowikow از تحقیقات خود این نتیجه را گرفتند که شاید سواهی سیاهچاله‌های بوجود آمده بر اثر ابرنواخترها، سیاهچاله‌هایی نیز در دوران بیگ‌بنگ شکل گرفته باشند، به اصطلاح سیاهچاله‌های اولیه (Primordial black holes). اما آیا چنان سیاهچاله‌هایی واقعا وجود دارند هنوز ثابت نشده است.

در سال ۱۹۶۷ J. A. Wheeler اصطلاح سیاهچاله را وارد ادبیات فیزیک کرد.

در سال ۱۹۶۷ تب‌اخترها کشف شدند.

در سال ۱۹۶۹ معلوم شد که تب‌اخترها ستارگان نوترونی چرخنده با سرعت بالا هستند.

در سال ۱۹۷۱ کشف اولین کاندید سیاهچاله‌ی (Cygnus X-1) و از آن پس مطرح شدن سیاهچاله‌ها در اخترشناسی.

در سال ۱۹۷۱ Stephen Hawking ایده‌ی سیاهچاله‌ها را دقیق‌تر مورد بررسی قرار می‌دهد. در ادامه استفن هاوکینگ در سال ۱۹۷۴ به این نتیجه رسید که عملکرد سیاهچاله‌ها یک‌سویه نیست، یعنی آن‌ها تنها ماده‌ی اطراف خود را به‌خاطر

نیروی گرانشی فوق‌العاده بالایشان به طرف خود نمی‌کشند، بلکه در طول زمان بسیار طولانی جرم خود را در شکل تابش گرمایی از دست می‌دهند، تبخیر می‌کنند. هر چه سیاهچاله بزرگتر باشد تبخیر محتوای آن کندتر و در نتیجه زمان برتر است. این گفته معنای آن نیز دارد که سیاهچاله‌ها به‌صورت ایده‌آل سیاه نیستند. پیش‌تر گفتیم که اصولاً شیء سیاه رنگ ایده‌آل (صد در صد سیاه) وجود ندارد. تابش گرمایی سیاهچاله‌ها، به‌اشعه‌ها و کینگ نیز معروف است. صحت نظریه‌ی هاوکینگ به اثبات نرسیده است.

در سال ۱۹۸۲ اولین سیاهچاله خارج از کهکشان ما در فاصله‌ی حدود صدوپنجاه‌هزار سال نوری در ابرهای ماژالانی بزرگ کشف شد.

از سال ۱۹۹۲ تحقیقات بر روی تأثیرات ابرسیاهچاله‌ی مرکز کهکشان راه شیری در محدوده‌ی فروسرخ آغاز شده است.

در سال ۲۰۱۶ (۱۱ فوریه) اعلان رسمی همجوشی دو سیاهچاله که پیش‌تر در بخش ستارگان نوترونی توضیح داده شد.

در سال ۲۰۱۹ (۱۰ آوریل) اولین تصویر رادیوتلسکوپی سیاهچاله‌ی کلان‌جرم در مرکز کهکشان M87 با جرمی حدود ۷ میلیارد جرم خورشید انتشار یافت (تصویر ۴).

در دهه‌های اخیر بحث سیاهچاله‌های نخستین (Micro Black holes و یا Primordial black holes) در ارتباط با طول عمر کوتاه‌ترین امواج اشعه گاما، سنجیده شده در کره‌ی زمین، مطرح می‌باشد. به این خاطر که محاسبات ریاضی نشان از برابر بودن طول عمر این امواج با طول عمر کیهان دارند. همین مطلب سبب این پرسش شده است که آیا چنان اشعه‌هایی گسیل شده از جانب سیاهچاله‌های نخستین هستند؟

انواع سیاهچاله‌ها:

۱. تقسیم‌بندی سیاهچاله‌ها بر پایه جرم و پروسه‌ی شکل‌گیری‌شان (در ارتباط با نیروی گرانشی و نیروهای دیگر):
 - ریزسیاهچاله‌ها (Micro black holes): کوچکترین و یا نخستین سیاهچاله‌ها به سیاهچاله‌هایی با جرم حدود جرم کره‌ی ماه و شعاع شوارتزشیلد حدود ۰٫۱ mm گفته می‌شود.
 - سیاهچاله‌های ستاره‌وار (Stellar black holes): با جرمی حدود ۱۰ جرم خورشید و شعاع شوارتزشیلد حدود ۳۰ کیلومتر، یعنی ستارگان نوترونی که در بالا توضیح داده شد.
 - سیاهچاله‌های جرم‌متوسط (Intermediate-mass black holes): دارای جرمی حدود هزار برابر جرم خورشید و شعاع شوارتزشیلد حدود هزار کیلومتر هستند.
 - سیاهچاله‌های کلان‌جرم (Supermassive black holes): با جرمی حدود ۱۰۰ هزار تا ۱۰ میلیارد جرم خورشید و شعاع شوارتزشیلد حدود ۱۵۰ هزار کیلومتر تا ۳۰ میلیارد کیلومتر. نزدیکترین سیاهچاله‌ی کلان‌جرم به منظومه شمسی در مرکز کهکشان راه شیری با جرمی حدود ۴٫۳ میلیون جرم خورشید به نام $Sagittaris A^*$ قرار دارد.

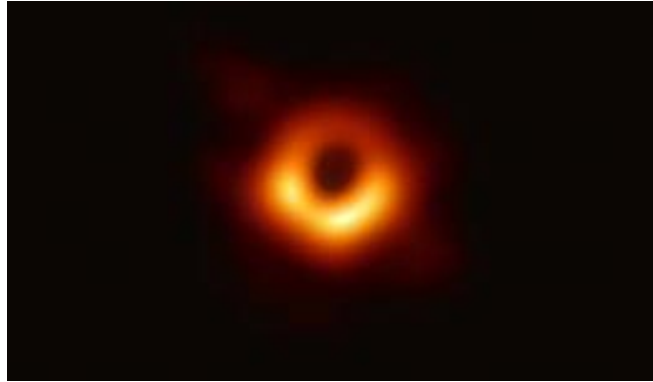
۲. تقسیم‌بندی سیاهچاله‌ها بر پایه مشخصات فیزیکی (جرم، بار الکتریکی و تکانه‌ی زاویه‌ای):

- سیاهچاله‌های بدون بار الکتریکی و بدون چرخش؛ قابل تشریح با متریک شوارتزشیلد.
- سیاهچاله‌های بدون بار الکتریکی ولیکن چرخنده؛ قابل تشریح با متریک کر.
- سیاهچاله‌های با بار الکتریکی و بدون چرخش؛ قابل تشریح با متریک رایسنر-نردستروم
- سیاهچاله‌های با بار الکتریکی و چرخنده؛ قابل تشریح با متریک کر-نیومن

معروفترین سیاهچاله:

در حال حاضر معروفترین سیاهچاله که تصویر آن به‌عنوان اولین تصویر از یک سیاهچاله در تاریخ ۱۰ آوریل ۲۰۱۹ منتشر شد سیاهچاله‌ی کلان جرم کهکشان M87 می‌باشد.

تصویر ۴: سیاهچاله‌ی کلان‌جرم کهکشان M87 با شعاع شوارتزشیلد حدود ۱٫۹ میلیارد کیلومتر را که از محاسبه‌ی تصویرهای رادیویی، گرفته شده توسط تلسکوپ افق رویداد، بدست‌آمده است نشان می‌دهد.^{۱۴}



تصویر ۴

تعداد سیاهچاله‌ها در کیهان:

کهکشان ما بیش از ۱۰۰ میلیارد ستاره دارد. از این تعداد حدود ۱۰۰ میلیون آن‌ها به اندازه‌ای بزرگ هستند که می‌توانند به سیاهچاله تبدیل شوند. در کیهان بیش از ۱۰۰ میلیارد کهکشان وجود دارد. در مرکز هر یک از این کهکشان‌ها یک سیاهچاله‌ی کلان جرم وجود دارد. چنانچه کهکشان راه شیری را به‌عنوان معیاری متوسط برای کهکشان‌ها در نظر بگیرم، در این صورت می‌تواند حدود ۱۰ میلیارد سیاهچاله وجود داشته باشد. به این تعداد می‌باید ۱۰۰ میلیارد سیاهچاله‌های کلان جرم کهکشان‌ها را نیز اضافه نمود. تاکنون تعداد ناچیزی، انگشت شمار، از سیاهچاله‌ها کشف شدند.^{۱۵}

آیا زمین و یا خورشید می‌تواند به سیاهچاله تبدیل شود؟

گفتیم که شرط اساسی برای سیاهچاله شدن چگالی بسیار بالا می‌باشد و نه اندازه‌ی جرم. حال با توجه به این مطلب اگر بتوان تمام جرم زمین با شعاع ۶۴۰۰ کیلومتر را در فضائی به شعاع ۱ سانتی‌متر متراکم کرد، در این صورت زمین به یک سیاهچاله تبدیل می‌شود. به همین منوال است در مورد خورشید، یعنی اگر بتوان کل جرم خورشید با شعاع ۷۰۰۰۰۰ کیلومتر را در فضائی به شعاع ۳ کیلومتر متراکم نمود، خورشید به یک سیاهچاله تبدیل می‌شود.

سفیدچاله:

آنچه در این بخش و بخش پایانی این مقاله، کرمچاله، بیان می‌شود، فکر و خیال واهی نیستند بلکه نتیجه‌ی محاسبات ریاضی دانشمندان سرشناس می‌باشند. در مقاله‌ی^۳ توضیح داده شد که انرژی منفی وجود دارد (از جمله و برای مثال در اثر کازیمیر^۴). در آنجا به این مطلب مهم نیز پرداخته شد که انرژی مثبت و منفی هر دو جواب‌هایی هستند که از حل از معادلات اینشتین بدست می‌آیند. انرژی (جرم) مثبت تحت شرایطی که ذکر شد منجر به شکل‌گیری سیاهچاله‌ها می‌شود.

انرژی منفی، به‌عنوان بخشی از جواب‌های حل معادلات نظریه نسبیت اینشتین، می‌تواند تحت شرایطی به شکل‌گیری سفیدچاله‌ها بیانجامد. این گفته بدان معنا نیست که جواب ریاضی معادلات اینشتین (منظور انرژی منفی است) به تنهایی برای صحت داشتن چنان ادعائی کافی است. شرط لازم برای صحت داشتن آن منوط به مشاهده‌ی سفیدچاله‌ها بهر وجه ممکن است. اما این اتفاق تاکنون نیافتاده است. با این حال ما کنجکاویم و می‌خواهیم بدانیم محاسبات ریاضی چه ویژگی‌هایی را برای سفیدچاله‌ها قائل می‌شوند، بدور از آن‌که سفیدچاله‌ها وجود دارند یا خیر.^{۱۶}

به خاطر آن‌که انرژی (جرم) منفی^۴ خود را در نظریه نسبیت به‌صورت قرینه‌ی انرژی (جرم) مثبت نشان می‌دهد، لازم است که سفیدچاله‌ها نیز مانند سیاهچاله‌ها هم دارای تکینگی (singularity) و هم افق رویداد باشند. اما با عملکردهایی معکوس. یعنی، در سفیدچاله‌ها می‌باید که عبور از افق رویداد از بیرون به داخل ناممکن باشد. به بیان دیگر، هیچ شیئی، حتی نور، نتواند از بیرون وارد سفیدچاله شود. در غیر این‌صورت لازم است که شیئی مربوطه سرعتی مافوق سرعت نور دارا باشد. به بیان دیگر، سفیدچاله‌ها بعکس سیاهچاله‌ها امکان ورود شیئی را به داخل نمی‌دهند بلکه انرژی یا جرم درون خود را به بیرون پرتاب می‌کنند؛ به معنای تشعشع ماده از داخل به بیرون. با این ویژگی‌ها می‌توان گفت که سفیدچاله‌ها به‌عنوان بخشی از حل معادلات اینشتین "سیاهچاله‌هایی" هستند که در جهت معکوس زمان (جهت معکوس زمان سیاهچاله‌ها) عمل می‌کنند، شبیه چیزی مانند حلقه فیلمی که در جهت معکوس به نمایش گذاشته شود.

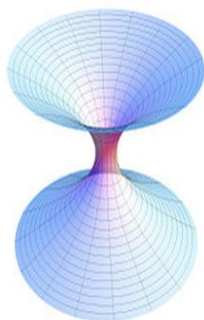
در بخش ستارگان نوترونی توضیح دادیم که چگونه یک ستاره‌ی پُر جرم می‌تواند به یک سیاهچاله تبدیل شود. در مقابل ما هیچ شناختی از پروسه‌های مربوط به شکل‌گیری احتمالی سفیدچاله‌ها نداریم، براینمان ناشناخته شده‌اند. اصولاً، بنابر قوانین

فیزیک موجود نبایستی سفیدچاله‌ای وجود داشته باشد. به این دلیل که تشعشع ماده از داخل سفیدچاله به بیرون با قانون دوم ترمودینامیک (آنتروپی) سازگار نیست. با این حال بسیار هیجان‌انگیز خواهد بود اگر معلوم شود که سفیدچاله‌ها واقعا وجود دارند. چرا که در این صورت آن‌ها می‌توانند منبع تولید ماده، انواع اقسام اجسام کیهانی مانند ستارگان، باشند.

کرمچاله:

گفتیم که سفیدچاله‌ها و کرمچاله‌ها فکر و خیال واهی نبوده بلکه نتیجه‌ی محاسبات دقیق ریاضی، معادلات دیفرانسیالی اینشتین، هستند. چنانچه این نوع فرم‌های نامتعارف ماده وجود داشته باشند، آن‌ها می‌توانند با سیاهچاله‌ها فرم خاصی از ماده را تشکیل دهند که شکل یک 'قیف دوسر' را دارد که در یک سر آن سیاهچاله و در سر دیگر قرینه‌ی سیاهچاله، یعنی سفیدچاله، قرار دارد (و یا در هر دو سر سیاهچاله). فضای بسیار باریک میان دوسر قیف کرمچاله نامیده می‌شود. مطلبی که در سال ۱۹۳۵ از جانب آلبرت اینشتین و ناتان روزن بطرز نظری نشان داده شد.

نظریه نسبیت امکان زدن پُل در فضا زمان، به اصطلاح پُل اینشتین - روزن (Einstein – Rosen Bridge)، را می‌دهد (تصویر ۵)؛ پلی در شکل یک تونل بسیار باریک، نوعی 'راه میان‌بر' بین دو بخش از کیهان. درست است که کرمچاله‌ها از (محاسبات ریاضی) معادلات اینشتین بدست می‌آیند اما لازم است توجه داشته باشیم که نظریه نسبیت کرمچاله‌ها را بسیار ناپایدار ارزیابی می‌کند.^{۱۵} در واقع پایداری آن‌ها منوط است به وجود ماده‌ی منفی با نیروی ضدگرانشی^۴. با کشف ماده‌ی منفی در سال‌های اخیر^۴ انتظار آن می‌رود که پژوهش در باره‌ی سفیدچاله‌ها و کرمچاله‌ها حداقل در زمینه‌ی نظری افزایش یابند. ۱۹۱۷ و ۱۹۱۸



تصویر ۵: مدل سفید چاله، کرمچاله و سیاهچاله^{۲۰}

برای شکل‌گیری کرمچاله می‌باید انرژی (جرم) منفی^۴ به حد کافی موجود باشد. یکی از مسائل و مشکلات این عرصه ناسازگاری نظریه نسبیت با قانون دوم ترمودینامیک (آنتروپی) است که پیش‌تر به آن اشاره شد. قانون دوم ترمودینامیک می‌گوید آنتروپی یک سیستم یا ثابت می‌ماند و یا افزایش پیدا می‌کند. انرژی منفی اما می‌تواند این قانون را نقض کند، چرا که طبق فیزیک کوانتوم تولید ذرات منفی^۴ (انرژی منفی) همراه است با تولید ذرات مثبت (انرژی مثبت) و این در واقع به معنای دستیابی به آرزوی دیرینه‌ی بشر به سیستمی یا دستگاهی به نام دستگاه حرکت دائمی (Perpetual motion) است. اما می‌دانیم که قوانین فیزیک حاضر (قوانین ترمودینامیک) چنان امکانی را ناممکن و مردود می‌داند.

گفتیم که تراکم بسیار بالای ماده سبب انحنای فضا زمان می‌شود. انحنای فضا زمان می‌تواند به دو شکل صورت‌گیرد (تصویر ۵): به شکل انحنای مثبت و یا منفی. انحنای مثبت، صادق در مورد سیاهچاله‌ها، زمانی پیش می‌آید که چگالی ماده‌ی مثبت بسیار بالاست. یعنی، از ذراتی مانند پروتون‌ها (ماده) و پادپروتون‌ها (پادماده)^۲ تشکیل شده است. انحنای منفی، صادق در مورد سفیدچاله‌ها، را وقتی داریم که ماده از نوع ماده‌ی منفی^۴ باشد. هرچه تراکم ماده، چه مثبت و چه منفی، بیش‌تر باشد خمیدگی فضا زمان نیز شدیدتر است. در حالت خمیدگی حداکثری فضا زمان بین سیاهچاله‌ها و سفیدچاله‌ها، یعنی کرمچاله‌ها را خواهیم داشت.^{۲۱ و ۲۲} کرمچاله‌ها به تعبیری تونلی بسیار باریک (سوراخی) بین نواحی مختلف کیهان و یا بقولی بین کیهان‌ها هستند (؟). تصور می‌شود ماده‌ای که وارد یک سیاهچاله شد پس از گذر از تونل، از کرمچاله، از آن طرف توسط سفیدچاله به بیرون پرتاب می‌شود.

منابع:

1. Animation: <https://de.quora.com/Was-spricht-dagegen-dass-sich-unser-Universum-auf-dem-Ereignishorizont-eines-schwarzen-Lochs-befindet>
2. Hassan Bolouri, The Concept of matter in Philosophy and Science

۲. حسن بلوری، مفهوم ماده در فلسفه و علم، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، سال ۲۰۲۰

3. Hassan Bolouri, Why is there something rather nothing?

۳. حسن بلوری، چرا به‌جای هیچ، چیزی وجود دارد؟ ماده و پادماده، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، سال ۲۰۲۰

4. Hassan Bolouri, Negative Matter (negative Mass, negative Energy): $E = - mc^2$

۴. حسن بلوری، مفهوم ماده‌ی منفی، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، سال ۲۰۲۰

5. M. Coleman Miller, Introduction to neutron stars, In *umd.edu*.www.astro.umd.edu, 2017

6. Chris L. Fryer, Aimee Hungerford, Neutron Star Formation, In: Altan Baykal, at.al.: The Electromagnetic Spectrum of Neutron Stars, 2006

7. https://de.wikipedia.org/wiki/Neutronenstern#/media/Datei:Neutron_star_cross-section.JPG

8. https://de.wikipedia.org/wiki/Neutronenstern#/media/Datei:Neutron_star_cross_section_de.svg

9. Max Planck Institute for Gravitational Physics, the first binary black-hole merger observed by LIGO, 2015

10. John Antoniadis, Multi-Wavelength Studies of Pulsars and Their Companions, Springer Theses, 2015

11. Hassan Bolouri, Milkomedia

۱۱. حسن بلوری، پیوندی در غیاب ما - تلنگری به اندیشیدنمان، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، سال ۲۰۱۹

12. Albert Einstein, On a Stationary System with Spherical Symmetry Consisting of Many Gravitating Masses, In: The Annals of Mathematics, Band 40, Nr. 4, 1939

13. L. D. Landau, E. M. Lifschitz: Lehrbuch der Theoretischen Physik, Band 2, Klassische Feldtheorie, 12. Aufl., 1992

14. Das erste Bild des Schwarzen Loches MX87 vorgestellt von ETH-Forschern;
https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch#/media/Datei:Black_hole_Messier87crop_max_res.jpg

15. NASA: Hubble Site: How many black holes are there?

16. Jayant Narlikar, White holes: cosmic energy machines, New Scientist, 24 February 1983

17. R. A. Fuller, J. A. Wheeler: Causality and Multiply-Connected Space-Time, Physical Review, Band 128, 1962

18. M. Morris, K. Thorne, U. Yurtsever: Wormholes, time machines and the weak energy condition, Phys. Rev. Lett., 61, 1988, Caltech.edu (PDF)

19. M. Visser: Traversable worm holes: some simple examples, In: Phys. Rev. D, 39, 1989

20. <https://de.cleanpng.com/png-27f5d0/>

21. L. Susskind, Ying Zhao: Teleportation through the wormhole, 2017

22. S. Hawking: Wormholes in spacetime, In: Physical Review D. Band 37, Nr. 4, 1988

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX