

به نام خالق هستی

مرکز نجوم آستان مقدس حضرت عبدالعظیم (ع)

نگاهی به فیزیک سیاهچاله‌ها

"از پیش بینی انیشتین در سال ۱۹۱۵ تا عکسبرداری کتی بومن در

سال ۲۰۱۹"

مؤلف: مهدی دانشیار

بهار ۱۳۹۸

بسم الله الرحمن الرحيم
و به نستعين وهو خير ناصر ومعين
وسلام و صلوات على محمد و آله الطيبين الطاهرين
المعصومين عليهم السلام

مقدمه:

ستاره‌شناسی و نجوم از زمره علوم پایه‌ای محسوب می‌شود که کاوش و پژوهش پیرامون آن راهگشای بسیاری از معضلات و مشکلات و پنجره‌ای به سوی افق‌های نوین در مسیر علم محسوب می‌شود.

آسمان آزمایشگاهی عظیم است که بی دریغ تمام هستیش را برای کاوش و پژوهش در اختیار انسان قرار می‌دهد و فارغ از اینکه در کجای زمین زندگی می‌کنی و چه زبان و نژاد و آئینی داری بدان دسترسی داشته و از موهبات آن بهره می‌بری، چه بسیار دانشمندان و فرهیختگانی که با اندیشه در آن ابواب علومی دیگر را بر آدمی گشودند و چه بسیار مردمانی که راه سعادت و بهروزی را در آن یافتند.

آسمان میعادگاه عاشقان، و تجلی گاه اندیشه فرزنانگان، و الهام بخش عالمان و عارفان می‌باشد.

جریان علم از روزگاران کهن از دوران فلاسفه‌ای چون ارسطو و منجمانی چون بطلمیوس، از دوره ابوریحان بیرونی و ابن سینا تا نیوتون و عصر انیشتین و ها و کینگ همواره نگاهی رو به سوی آسمان داشته، و با رصدهای دقیق سعی در مدلسازی حرکت سیارات یا پی بردن به راز ستارگان

و تشخیص شکل کیهان مرزهای علم را در نور دیده و پاسخگوی سوالات سائیلین و راهگشای سیر انسان بوده و انسان خاکی را آن قدرت داده که در مورد پیدایش عالم، فرم شکل گیری آن، پیش بینی حرکات آن، صاحب نظر باشد.

و بر مبنای علوم پایه الهام گرفته از طبیعت، بنیان تکنولوژی و فناوری عظیمی را بگذارد. پس لاجرم ریشه‌های تکنولوژی معاصر را می‌توان در علوم پایه جستجو نمود و تمدن معاصر حاصل تفکر حجت‌های بزرگی چون انیشتین، هایزنبرگ، پاولی و... که ریشه‌های تمدن را آبیاری کرده و بر غنای آن افزودند، اندیشه‌هایی که با محوریت سه رکن **آزمایش و مشاهده، ریاضیات و محاسبات و بالاخره استدلال عقلی حاکم بر آن** شکل گرفته، و مبنای علوم دقیقه‌ای بنام ساینس را گذاشته است.

ساینس به نوبه خود، از مهمترین دستاوردهای معرفی بشر محسوب می‌شود که بنا و مبنا و محک درستی و نادرستی سایر مکاتب نیز به نوعی تلقی می‌شود، چرا که علمی است مبتنی بر مشاهده و اندیشه و محاسبه که جای شک و شبهه‌ای را به جای نمی‌گذارد، و از دام شبه علم و مسائل پیرامون آن به دور است،

ساینس روشی است رالیستی و واقعیت‌گرا، که تمام ارکان آن متناسب با هم، بدان ارزش می‌دهد والا هر کدام از ارکان اگر به نوعی افراط و تفریط شود آن علم از ساینس بودن خارج خواهد شد.

مثلاً اگر فقط مشاهده و تجربه داشته باشیم بدون آنکه آن را در محاسبه و ریاضیات قرار دهیم و نظریه پردازی کنیم بالتبع این ساینس نیست.

حال اگر ریاضیات بر مشاهدات و تجربه فزونی یابد باز هم نباید در حوزه ساینس قرار گیرد، صرف برهان ریاضی داشتن بدون محک تجربه ساینس تلقی نمی‌شود.

و یا اینکه استدلال عقلی بر ریاضیات و مشاهده غلبه کند، این هم در حوزه ساینس نیست همان فلسفه و حکمت قدیم می‌باشد

پس تعریف ساینس در این سه رکن متناسب با هم تحقق پیدا می‌کند، حال سوال دیگری که مطرح است این است که اگر ایده و ریاضیات که ساخت و پرداخت ذهنیت انسان است

اگر انسان_نظری را ارائه دهد و پیش بینی را بکند ولی تکنیک و مشاهده به حدی پیشرفت نکرده باشد که این نظریه را به بوته آزمایش قرار دهد آیا این هم جزو ساینس محسوب می‌شود؟

جواب این است که اگر چنین حالتی نباشد اصلاً دانش سیر صعودی خود را طی نخواهد کرد و هیچ دستاورد مهمی نخواهد داشت، همین نظریه پردازی‌ها و در نهایت به دنبال اثبات آن از طریق، مشاهده با رصد است که منجر به پویایی بسیاری از علوم معاصر شده است.

مثلاً نظریه نسبیت عام ایده‌ای که انیشتین با ریاضیات عالی و زیبا بنیان نهاد و نتایجی از آن در صد سال پیش بدست آورد که در طول یک قرن اخیر بسیاری از آنها کشف شد از جمله امواج گرانشی که سال ۲۰۱۴ کشف شد در صورتی که ایده آن برای ۱۹۱۵ بود، در حوزه کوانتم مکانیک هم همین مسئله وجود دارد، آنچه به نظر می‌رسد اگر محاسبات و ایده‌ها در نهایت راه حلی در جهت اثبات شهودی خود ارائه دهند، و اندیشه‌ها را به تکاپو وادارند می‌توانند در جهت رسیدن به ساینس قرار گیرند، والا نه.

انسان به عنوان موجودی آشکارساز ساینس در طبیعت است که بر مبنای خرد و چراغ و عقل و منطق خود، این علوم را آشکارسازی می‌کند، و

این از جمله رسالت‌های انسان در جهان محسوب می‌شود که در کتاب‌های آسمانی نیز بدان اشاره شده است

« هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَ قَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ » (۱۰/۴)

همانا او خدائی است که خورشید را چون چراغ فروزان برافروخت و ماه را به نور آن منور گرداند و برای ماه منازل در آسمان مقرر کرد که با مشاهده و رصد آن حساب و ریاضیات حاکم بر آن را بدست آورید و متوجه شوید که خداوند آنها را به حق آفریده است و خداوند این چنین برای دانشمندان آیاتش را آشکار می‌کند.

آیه اشاره دارد به رصد و محاسبه و استدلال عقلی و این‌ها ارکان ساینس است پس یکی از رسالت‌های انسان دستیابی به چنین علمی دانسته شده است.

پس مشاهده یکی از ارکان این شناخت محسوب می‌شود، حالا زمان مشاهده و آزمایش هر چقدر می‌خواهد باشد، و مادامی که این سه رکن تحقق نیافته نمی‌توان در زمره ساینس تلقی شود

اینجا لازم است تفکیکی صورت پذیرد بین نظریه‌ها یا که در حوزه ساینس قرار می‌گیرند و نظریاتی که در حوزه ساینس قرار نمی‌گیرند، گاهی نظریه‌های ساینسی در حوزه‌ای از علم هستند مثل حوزه الکترومغناطیس و یا مکانیک کلاسیک، که محاسبه، آزمون و مشاهده آن بسیار در دسترس و قابل مشاهده است، پس لاجرم صحت و درستی آنها قابل آزمون است و تصحیح کردن لذا به جرأت در حوزه علوم دقیقه و ساینس قرار می‌گیرد، و مشاهده و خطا در آن تحقق پذیر است، اما عده‌ای از نظریه‌ها بسیار پیچیده هستند هم از لحاظ تئوری و هم از لحاظ محاسبات و هم از لحاظ مشاهده.

آیا می‌شود صرف اینکه تئوری با ایده فلسفی خاصی همخوانی دارد و از لحاظ ریاضی هم اشکالی در آن مشاهده نمی‌شود، در زمره ساینس قرار بگیرد؟

باید خاطر نشان کرد چنین تئوری با این گونه ساختار ریاضی می‌تواند به عنوان استدلال عقلی و ریاضیات دو رکن ساینس را در نوردد و چون رکن سوم محقق نمی‌شود لاجرم در زمره ساینس نیست، حالا سوال دیگر که در اینجا خوب است بررسی شود این است که آیا می‌شود از ارکان ساینس، استعانت جست و رکن دیگر را نتیجه گرفت؟

مثلاً از رکن ریاضیات و مشاهده به رکن استدلال عقلی برسیم؟ این ایده تجربه گرایان است، این کلیتی ندارد همان گونه که گفته شد بسیاری از تئوری‌ها ی معاصر رکن مشاهده ایشان مختل است و فقط بر ریاضیات و تئوری استوارند، بله از مشاهده و ریاضیات حاصل می‌توان به تئوری‌ها یی رسید که حاصل آن‌ها ساینس‌اند تئوری گرانش نیوتونی و یا الکترومغناطیس، ترمودینامیک و به طور کلی علوم تجربی کلاسیک البته ارکان این تئوری‌ها هم بر اساس اصول موضوعی است که لاجرم در خود ریاضیات و یا موضوعیتی ندارد، مثلاً جهان شمول بودن قوانین فیزیک، یا وحدت نیروها.

لازمه خود تئوری علاوه بر استعانت از دو رکن مشاهده و ریاضیات، استدلال عقلی هم هست که آن استدلال ممکن است از مشاهده و ریاضیات مستقل باشد، پس نمی‌شود همیشه از مشاهده و ریاضیات به استدلال عقلی رسید.

در سوال دیگر آیا از استدلال عقلی و مشاهده چطور می‌شود به رکن ریاضی رسید؟

در این خصوص می‌توان چنین گفت که ریاضیات منطق حاکم بر طبیعت است؟ که می‌تواند مشاهدات را در غالب ساینس در آورد و قدرت پیش بینی و محاسبه به تئوری ببخشد؟

باری دیده شده که ریاضیات یک تئوری ساینس قبل از کاربرد در آن به وجود آمده و مستقل از مشاهده پیشرفت کرده و بعد از قرن‌ها کاربرد آن در ساینس آشکار شده است، پس لزوماً چنین چیزی نیست، ریاضیات را می‌توان مستقل از مشاهده و متافیزیک توصیف کرد، و بالاخره سوال آخری آیا می‌شود مشاهده را بر مبنای ریاضیات و استدلال عقلی پیش بینی کرد؟

البته مشخص است که ریاضیات و متافیزیک (استدلال عقلی) هیچگاه جای رکن مشاهده را نخواهد گرفت و آن رکنی مستقل است اما پیش بینی می‌توانند بکنند که در چه شرایطی چه چیزی را مشاهده خواهید کرد که این قدرت تئوری را نشان می‌دهد، و چون محک این پیش بینی مشاهده و آزمایش و اندازه گیری است، قابل قبول است چرا که اگر در مشاهده شد پس تئوری درست است والا نادرست و باید تجدید نظر شود حال اگر فقط ریاضیات و متافیزیک (استدلال عقلی) را در تئوری بکار بریم که قابل مشاهده و اندازه گیری نباشد، و یا از این محاسبات متافیزیکی خاص را نتیجه بگیریم چه؟

مثلاً فرض بکنیم که ریاضیاتی را برای متافیزیک (استدلال عقلی) خاصی استفاده کرده ایم و پیش بینی‌هایی را انجام داده ایم، طبق شواهد ریاضی و متافیزیکی، تئوری خاصی را ارائه دادیم بدون مشاهده و اندازه گیری، حالا بعد از گذر زمان، پیش بینی‌های تئوری به تحقق رسیده است، و مشاهده و اندازه گیری شده است

پس این تئوری تا حدودی در زمره ساینس قرار گرفته است آیا با استعانت بر این قدرت تئوری می‌توان، این تئوری را گسترش داد و پیش بینی‌های دیگر هم انجام داد؟

بله می‌شود، همین ارکان پیشرفت علم را محقق می‌سازد و زوایای تاریک طبیعت را آشکار و پنجره‌های نوین را می‌گشاید.

اما همین تئوری چنانکه در ساختار ریاضی و متافیزیکی که پیش بینی‌های درستی هم انجام داده اگر به نتیجه‌ای سازگار برسد که البته قابل مشاهده و اندازه‌گیری فیزیکی نیست آیا این در زمره ساینس قرار می‌گیرد و می‌توان این نتیجه را به عنوان یک امر ساینسی پذیرفت؟

یا به عبارت دیگر صرف اینکه تعدادی از پیش بینی‌هایش محقق و درست بوده می‌توان سایر پیش بینی‌هایش را هم بدون رکن مشاهده و آزمایش یا رصد بپذیریم و یا استنتاج‌های غیر شهودی داشته باشیم؟ قابل ذکر است که این منطق در زمره قیاس قرار می‌گیرد نه استقراء، روش علوم تجربی روش استقرائی است نه قیاسی ولی در مبانی اصول موضوعه علوم تجربی قیاس به عنوان یک اصل پذیرفته شده مثلاً «تمام قوانین فیزیک جهان شمول هستند.» این اصل یعنی قیاس، گرچه مقدمه‌ای استقرائی و تجربی دارد، چرا که همان قوانینی که شما در آزمایشگاه بدان دست پیدا می‌کنی در شرایط مشابه در باره منظومه شمسی و حتی کهکشان هم تعمیم می‌دهید.

البته نکته قابل توجه اینجاست که این جهان شمولی و تعمیم تا زمانی می‌تواند حجیت داشته باشد که پیش بینی‌ها و رصدها با هم همخوانی داشته باشد والا قیاس مع الفارق است، چرا که مثلاً اگر قوانین نیوتون در سیستم‌های بزرگ مقیاس با چالش مواجه شد و یا جواب نداد، و یا در سیستم‌های ریز مقیاس محقق نشد، لاجرم برای آن سیستم‌ها باید به

دنبال تئوری دیگری گشت، مادامی اجازه استفاده از یک تئوری را داریم که در سیستم مورد نظر ما پیش بینی‌ها درست باشد.

اگر محک و ملاک و میزان تجربه را نداشته باشیم چه باید کرد؟

همان طور که گفته شد امر قیاسی مشروط است که در زمره ساینس قرار بگیرد و آن معیار سنجی به مدد آزمایش است، اگر تئوری در بوته مشاهده و آزمایش درنیابد، به ساینس تبدیل نمی‌شود. اگر ساینس نباشد، یا در حوزه فلسفه است یا در زمره شبه علم است یا در زمره ریاضیات یا چیز دیگر.

آیا می‌شود تئوری را صرفاً برای تحقق یک ایده فلسفی و یا نقض یک ایده فلسفی پذیرفت یا رد کرد؟

اگر حوزه تئوری، حوزه‌ای ملموس و آزمایشگاهی باشد، تحقق این امر بسیار دشوار و شاید غیرممکن باشد فرض بکنید فرضیه نیوتون با تمام عظمت و قدرتش در حوزه فیزیک کلاسیک را کسی به صرف اینکه با عقیده فلسفی جور در نمی‌آید بخواهد عوض کند و منطق دیگری بر آن قالب کند، اما اگر تئوری امری ملموس و آزمایشگاهی کلاسیک نباشد، و اندازه‌گیری و مشاهده مفاهیمی که از آن صحبت می‌شود بسیار دشوار باشد، و درک آن بسیار دشوار باشد و تعاریف متفاوتی داشته باشد و در سیستم‌های مختلف به گونه‌های مختلفی ظاهر شود ممکن است که این کارها صورت پذیرد

البته باید متذکر شویم که مفاهیم در یک تئوری به نحوی تعریف می‌شوند که با خود تئوری سازگار باشد پس حق آن را نداریم که از این مفاهیم در تئوری دیگری که با آن ناسازگار است استفاده کنیم چرا که ممکن است که مفاهیم در لفظ مشترک باشند ولی در معنی مشترک نباشند.

مثلاً درباره فضا و زمان از دیرباز در مکاتب مختلفی، تعاریف متفاوتی شده است که با مشاهده هر مکتب ملاحظه می‌شود آنچه در آن تعریف می‌

شود با مکتب دیگر متفاوت است، بحث فضا و زمان از منظر ابن سینا با بحث فضا و زمان در مکتب ملاصدرا و همچنین دکارت و کانت متفاوت است و اشتراکی بین مفهوم فضا و زمان نیوتونی و نسبییتی وجود ندارد، و همین گونه در مباحث مکانیک کوانتومی، مفاهیم بالکل چیز دیگریست، پس ابتدا باید متوجه تعاریف مفاهیم بود و نقاط اشتراک و افتراق را به دقت روشن نمود، اما می‌شود به یک موضوع با یک روش و متد با دو زاویه مختلف نگاه کرد.

اگر شاهد تجربی برای هیچ کدام از دو تئوری وجود نداشته باشد هر دو هم عرض هستند و هیچکدام بر دیگری ارجحیتی ندارد اما اگر شواهد تجربی و رصدی یکی از آنها را تایید کرد ناخودآگاه دیگری مردود خواهد بود گرچه هر دو مکانیزم ریاضی منسجمی داشته باشند.

حال سوال بعدی اینجاست اگر در تئوری هم عرض، یکی از تئوری‌ها برای تحقق خود احتیاج به در نظر گرفتن محیطی غیر فیزیکی یا متافیزیکی یا فرافیزیکی باشد در صورتی که تئوری دیگر به اصطلاح خود گنجا باشد و احتیاجی به متافیزیک یا فرافیزیک نداشته باشد کدام تئوری ارجحیت دارد؟

برای پاسخ به این سوال دوباره نگاهی به ارکان ساینس می‌اندازیم،
۱- مشاهده و اندازه گیری ۲- ریاضیات و محاسبات ۳- متافیزیک (استدلال عقلی)

مثلاً دو تئوری وجود دارد مثل نظریه بیگ بنگ که این ادعا را دارد که جهان از لحظه $t=0$ به وجود آمده است و جهان حادث است و تئوری خودگنجا که جهان همیشه همین گونه بوده و آغاز و انجامی ندارد، در تئوری اول یعنی بیگ بنگ ما به نقاط تکینه و خیلی مسائل احتیاج داریم، که در نهایت در لحظه‌ای جهان تحقق یابد.

ولی در تئوری دوم احتیاجی به لحظه $t=0$ نیست، فضا - زمان سطح بسته بدون مرزی را تشکیل می‌دهد، در این تئوری می‌توان فضا - زمان را به سطح زمین تشبیه کرد که بر روی آن فاصله تا قطب شمال نمایشگر زمان مجازی است، اندازه دایره عرض جغرافیایی نمایشگر اندازه فضایی عالم است عالم مانند یک نقطه در قطب شمال آغاز می‌شود با حرکت به سمت جنوب دایره عرض جغرافیایی بزرگتر می‌شود. که متناظر با انبساط عالم در زمان مجازی است، عالم در استوا به بیشینه اندازه خود می‌رسد و دوباره در قطب جنوب به صورت یک نقطه منقبض می‌شود.

هر چند اندازه عالم در قطب‌ها ی شمال و جنوب صفر است. این نقاط به همان اندازه نقاط تکیه‌ای هستند که قطب‌ها ی شمال و جنوب بر روی زمین نقاط منحصر بفردی هستند. قوانین علم در آغاز عالم معتبر خواهند بود درست همان گونه که در قطب شمال و جنوب معتبرند.

این ایده اخیر به مانند ایده هوپل است که همزمان و در تقابل با ایده بیگ بنگ وجود داشته و البته شواهد رصدی و تجربی ایده بیگ بنگ را مورد تأیید قرار داد.

البته دو تئوری اخیر یعنی، تئوری خودگنجا و بیگ بنگ، اگر چنانچه تئوری خودگنجا مطابق گفته‌ها و کینگ که احتیاج به بررسی بیشتری دارد بتواند با همان قدرت تئوری بیگ بنگ آفرینش و عالم را توصیف کند، هم عرض هم هستند، مگر آنکه شواهد تجربی مؤید یکی از آنها باشد و موید دیگری نباشد

حال به فرض متقاعد شدیم که نظریه خودگنجا معتبر است، جالب است بدانیم، در گام قبلی‌ها و کینگ به نظریه خلقت از عدم روی آورده بود و با قوت نظریه بیگ بنگ را تأیید می‌کرد و برای فرار از متافیزیک حاکم در بدو خلق نظریه خلقت از عدم را مطرح کرد که جهان در اثر افت و خیزهای

کوانتومی و قوانین مکانیک کوانتومی تشکیل شده، گویا خودش هم با این نتیجه رسیده بود که نظرش درست نیست و غیرمنطقی بودن آن را درک کرده بود، که نظریه خودگنجا را جایگزین آن می‌کند، و عنوان می‌کند جهان همیشه بوده و همیشه خواهد بود، یعنی برنامه ریز عالم مثل یک برنامه کامپیوتری که در پیش زمینه بعضی از کامپیوترها قرار دارد، که نشان می‌دهد گویا صفحه مانیتور همواره در فضا پیش می‌رود، و هیچ گاه به جایی منتهی نمی‌شود، برنامه ریز این گونه برنامه را طراحی کرده از اول اینگونه باشد تا به آخر، و هیچ انفجاری و هیچ چیز دیگری در این برنامه ریزی در میان نبوده است، و فقط گوئی‌ها و کینگ این مانیتور را به گونه‌ای کروی و چند بعدی در نظر گرفته که گوئی در مشاهده آن حالت‌ها ی انقباض و انبساطی دیده می‌شود.

اما مطلوب‌ها و کینگ باز هم با این نظریه محقق نمی‌شود، چون‌ها و کینگ می‌خواهد از آزمایش‌های فیزیکی نتیجه متافیزیکی بگیرد آیا کسی که پشت کامپیوتر نشسته و این برنامه را نگاه می‌کند با نگاه کردن به این برنامه می‌توان نتیجه بگیرد که مهندس نرم افزار و سخت افزاری این کامپیوتر و پردازشگر را طراحی نکرده است؟

آیا فقط بیگ بنگ و خلقت از عدم به نظریه خدا باوری منتهی می‌شود و نظریه خودگنجا نمی‌شود؟

مسلماً چنین نیست، و جالب این است که این ایده اخیرها و کینگ با قدرت تمام در مقابل نظریه تکاملی داروینسم قرار می‌گیرد، چون این تئوری می‌گوید جهان از ازل به همین گونه خلق شده بدون هیچ تکاملی، این مسئله را به چالش می‌کشد که جهان که از ازل به همین گونه خلق شده چه اشکالی دارد که موجودات هم بدون هیچ تکامل کوری به همین گونه خلق شده باشند و احتیاج به تکاملی در بین نباشد.

یعنی‌ها و کینگ با نظریه خودگنجا چالش جدی بر نظریه تکامل داروینی وارد می‌آورد، به هر حال نتیجه‌گیری متافیزیکی مطلوب‌ها و کینگ محقق نمی‌شود

به هر حال به نظر هر کدام از تئوری‌ها که بتوانند بهتر پدیده‌های موجود در جهان را تعریف کرده و توضیح دهند، فارغ از نتایج متافیزیکی ایدئولوژیکی، تئوری ساینسی محسوب می‌شوند.

البته روش ساینس، خود روشی مهم در هستی‌شناسی است، و غیر از هستی‌شناسی حرفی برای گفتن ندارد و یک روش و متد و میزان تشخیص سره از ناسره است و کدهایی جدی در جهت تأیید بعضی از جهان‌بینی‌ها ورد بعضی دیگر را می‌دهد

واما فیزیک سیاهچاله‌ها آیا در قلمرو ساینس قرار دارد یا ندارد؟

شاید وقتی این کتاب را در دست تدوین داشتیم هنوز این فیزیک در قلمرو ساینس قرار نگرفته بود چرا که همان‌گونه که خاطر نشان شد برای رسیدن به «ساینس» احتیاج به سه رکن مشاهده و آزمایش، ریاضیات و محاسبه، و متافیزیک (استدلال عقلی) است اما فیزیک سیاهچاله‌ها گرچه دارای مبانی تئوری و محاسباتی بسیار قوی و مستحکم بود و از جمله مباحثی محسوب می‌شد که در جهت تأیید مبانی تئوری نسبیت عام مورد توجه بود ولی از نظر مشاهده و رصد با مشکلی عمده مواجه بودیم و شاید گمان می‌رفت که هیچگاه در زمره ساینس قرار نگیرد.

به هر حال کاووش در آن، کاووش در موجودی منحصر به فردی بود در واقع بررسی و تحقیق در موارد حدی یک تئوری محسوب می‌شد، جایی که انرژی، جرم و فضا و زمان به سوی نقاط تکنه حرکت می‌کنند، نقطه اتصال دو ابر تئوری قدرتمند یعنی نسبیت عام و مکانیک کوانتومی بود. که

فیزیک سیاهچاله‌ها* ۱۷

هنوز از لحاظ تئوری در پیوند آنها مشکلات فراوانی به چشم می‌خورد، پژوهش در سیاهچاله‌ها، پژوهش در فیزیک خاصی محسوب می‌شد که می‌توانست راهگشا و پنجره‌ای نوین به سوی تئوریهای جدید و کشف ساینس در طبیعت باشد پس مطالعه سیاهچاله‌ها از این نظر اهمیت داشت که حرکت در مرزهای علم بود.

برای بدست آوردن دانش و ایده‌های جدید، پژوهش در مناطق حدی فیزیک بسیار اهمیت دارد که در حوزه نسبیت عام این مهم در آزمایشگاه معمولاً امکان پذیر نیست، و حتی ممکن است این پژوهش‌ها منجر به رسیدن به ایده‌هایی برای رسیدن به فناوری‌ها و انرژی‌ها جدید نیز باشد. وقتی که ما در حال تدوین و تنظیم این کتاب بودیم، اتفاق شگفت‌انگیزی افتاد و آن این بود که در خبرها مخابره شد که بالاخره سالها تلاش دانشمندان به ثمر نشست و روز چهارشنبه ۱۰ آوریل ۲۰۱۹ مطابق ۲۱ فروردین ۱۳۹۸، به کمک تلسکوپ « افق رویداد » برای نخستین بار تصویر واقعی از یک سیاهچاله ثبت شد.



یعنی یکی دیگر از ارکان "ساینس" بودن این علم تحقق پیدا کرد و رسماً این فیزیک یعنی فیزیک سیاهچاله‌ها در زمره ساینس قرار گرفت. با انتشار این تصویر بسیاری از افراد نسبت به آن واکنش نشان دادند، اما سوالی که برای اکثر افراد پیش آمده بود این است که دلیل واضح نبودن این تصویر چیست؟ و چندین سوال دیگر، اما به جای دیدن نیمه خالی لیوان بد نیست به نیمه پر و بسیار مهم آن نیز بنگریم و آن این است که ما افراد خوش شانس هستیم چرا که شاید تا کنون حدود ۱۰۰ میلیارد انسان روی کره زمین زندگی کرده‌اند اما تنها ما این شانس را داشتیم که اولین تصویر واقعی از یک سیاهچاله را ببینیم. و آن هم در زمانی که مشغول تالیف و تدریس درس سیاهچاله‌ها در مرکز نجوم آستان مقدس حضرت عبدالعظیم در شهرری بودیم.

دهمین روز آوریل سال ۲۰۱۹ رویدادی بی نظیر در نجوم به وقوع پیوست و دانشمندان که سالیان متمادی برای ثبت یک تصویر از سیاهچاله‌ها تلاش می‌کردند، بالاخره موفق شدند.

اختر شناسان برای نخستین بار در تاریخ، تصویری از یک سیاهچاله را اکنون نام آن را "Powehi" نامیده‌اند با دوربین تلسکوپ " افق رویداد " شکار کردند. نام این سیاهچاله در زبان‌ها وایی به معنای " منبع تاریکی زینت داده خلقت بی پایان " (embellished dark source of undering creation) است.

سیاهچاله Powehi چهل میلیارد کیلومتر قطر داشته و در یک کهکشان دور قرار دارد. اکنون انسان‌ها به لطف تلسکوپ " افق رویداد " قادر به دیدن نخستین تصویر از افق رویداد یک سیاهچاله که در ۵۰۰ میلیون تریلیون کیلومتری کره زمین قرار دارد، هستند.

بدون شک سیاهچاله‌ها یکی از پدیده‌های بسیار جذاب و هیجان انگیز و در عین حال اسرارآمیز جهان هستند. این پدیده هم چنین برای اخترشناسان و اختر فیزیکدانان نیز بسیار اسرارآمیز است و به همین دلیل است که آنها حدود نیم قرن است که در حال مطالعه درباره آنها هستند.

اکنون دانشمندان می‌بایست تشکر ویژه‌ای از " آلبرت اینشتین " بجا آورند چرا که او در ابتدا با نظریه‌های یی درباره گرانش، احتمال وجود سیاهچاله‌ها را مطرح کرد.

سیاهچاله‌ها چه هستند؟

به عبارت ساده، هنگامی که ستاره‌های عظیم در پایان سیکل زندگی خود، رمبش گرانشی را تجربه می‌کنند، سیاهچاله‌ها به وجود می‌آیند. مدتی طولانی پس از اینکه ستاره‌ها آخرین سوخت هیدروژنی خود را از دست می‌دهند و چندین برابر اندازه استاندارد خود که به نام مرحله " غول سرخ " (Red branch gian) شناخته می‌شوند، در می‌آیند، لایه‌های بیرونی آن طی یک انفجار دیدنی به نام " ابرنواختر " منفجر می‌شوند.

غول سرخ (RGB)، بخشی از "شاخه غول پیکر" (Giant branch) است که ستاره‌های عظیمی در آن قرار دارند و قبل از احتراق هلیوم در جریان تکامل ستارگان رخ می‌دهد.

در ستارگان کم جرم تر، انفجار یک ستاره با تراکم بسیار زیاد "ستاره نوترونی" را به وجود می‌آورد اما در ستاره‌های پر جرم تر این داستان فرق می‌کند چرا که این فروپاشی و انفجار یک جرم فشرده که قادر به تغییر شکل فضا-زمان اطراف خودش است را به وجود می‌آورد.

میدان گرانشی یک سیاهچاله به قدری قوی است که هیچ چیز حتی ذرات زیر اتمی یا تابش الکترومغناطیسی (به عنوان مثال نور) نیز نمی‌توانند از آن فرار کنند. مرز بیرونی سیاهچاله که هیچ چیزی پس از عبور از آن نمی‌تواند به بیرون بیاید را "افق رویداد" می‌نامند. افق رویداد در نسبیت عام آلبرت اینشتین، منطقه‌ای از فضا - زمان است که در آنجا تمام مرزهای فضا به شدت تحت تأثیر سیاهچاله است و اگر جسمی وارد این ناحیه شود، سرانجام بروی تکینگی سیاهچاله سقوط می‌کند.

در افق رویداد، هیچ چیز نه می‌تواند فرار کند و نه قابل مشاهده است. هر چیزی (ماده یا انرژی) که از این مرز عبور کند، فشرده می‌شود، در این ناحیه انحنای فضا-زمان بی نهایت می‌شود و به عبارت دیگر میدان گرانشی به بی نهایت می‌رسد، به این ناحیه در مرکز سیاهچاله، تکینگی (Singularity) می‌گویند.

سیاهچاله‌ها اندازه‌های متفاوتی دارند به گونه‌ای که هر چه یک ستاره پر جرم تر باشد، می‌تواند سیاهچاله‌های ستاره‌ای (Stellar black hole) که جرم آنها از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر جرم خورشیدی متغیر است را ایجاد کند. سیاهچاله ستاره‌ای، سیاهچاله‌ای است که عمدتاً از فروریزی حاصل از

فیزیک سیاهچاله‌ها* ۲۱

گرانش یک ستاره با جرم معمولی به وجود می‌آید و می‌تواند پنج تا دهها برابر خورشید جرم داشته باشد.

اندازه برخی سیاهچاله‌ها ی ستاره‌ای ممکن است بسیار بزرگ باشند زیرا آنها حاصل ادغام چندین ستاره هستند.

این ادغام‌ها امواج گرانشی عظیمی تولید می‌کنند که انیشتین در نظریه نسبیت عام آن را پیش بینی کرده بود و در آن گفته بود این موضوع سبب ایجاد موج در فضا-زمان می‌شود.

دانشمندان اخیراً به لطف امکاناتی نظیر "رصدخانه موج گرانشی با تداخل سنج لیزری" یا "لایگو" (LIGO) قادر به تشخیص این امواج شدند. رصدخانه موج گرانشی با تداخل سنج لیزری یک آزمایش بزرگ فیزیکی با هدف آشکارسازی مستقیم امواج گرانشی است.

دانشمندان بر این باورند که فرایند ادغام، سبب ایجاد "ابریاهچاله‌ها" (SMBH) می‌شوند که در مرکز بیشتر کهکشان‌ها ی ماریچی و بیضوی وجود دارند، به گفته آنها هنگامی که ادغام کهکشانی اتفاق می‌افتد، این "ابر سیاهچاله‌ها ی پرجرم" نیز گرد هم می‌آیند و باز هم بزرگتر می‌شوند.

سیاهچاله "قوس‌ای*" " (Sagittarius*) به عنوان نزدیکترین ابر سیاهچاله پرجرم به خورشید شناخته می‌شود، این سیاهچاله در حدود ۲۶ هزار سال نوری از منظومه شمسی در مرکز کهکشان ما قرار دارد، می‌توان در حوالی مرز صورت فلکی "قوس" و "عقرب" جای آن را پیدا کرد

این ابر سیاهچاله پرجرم، جرمی معادل تقریباً چهار میلیون برابر خورشید دارد و یکی از معدود سیاهچاله‌ها یی است که به دلیل نزدیکی، اخترشناسان می‌توانند اجرام تحت تاثیر آن را مشاهده کنند.

اما سیاهچاله "Powehi" در کهکشانی به نام "۸۷M" قرار دارد که ۵۵ میلیون سال نوری از ما فاصله دارد. سال نوری (Light-year) یکی از

یکاهای است که به مخفف به صورت "ly" نشان می‌دهند و برای سنجش فاصله یا مسافت مورد استفاده قرار می‌گیرد این یکا بیشتر در محاسبات مربوط به کیهان‌شناسی و نجوم به کار می‌رود. سال نوری طبق تعریف برابر است با مسافتی که نور در خلاء در مدت یک سال طی می‌کند و تقریباً برابر است با ۹ پتامتر (۹ pm) که عددی معادل ۸۰۰،۵۸۰،۴۷۲،۷۳۰،۴۶۰ متر یا تقریباً ۹/۵ هزار میلیارد کیلومتر می‌شود. اگر این عدد را در ۵۵ ضرب کنیم فاصله نجومی این سیاهچاله با زمین به دست می‌آید.

در این تعریف، دو عامل سرعت نور در خلاء و مدت زمان یک سال دخالت دارند.

در حال حاضر، مدت زمان دقیق سال که باید برای محاسبه مقدار سال نوری استفاده شود، به صورت بین‌المللی تعریف نشده است و تنها تقویمی که مورد استفاده اختر فیزیکدانان قرار می‌گیرد، تقویم رومی (ژولینی) می‌باشد که توسط اتحادیه بین‌المللی اخترشناسی پیشنهاد شده است.

بر مبنای این تقویم، یک سال برابر است با ۳۶۵/۲۵ روز که هر روز معادل ۸۶/۴۰۰ ثانیه می‌باشد، که با احتساب تعریف سرعت نور به مقدار ۲۹۹/۷۹۲/۴۵۸ متر بر ثانیه، پس مقدار مسافت سال نوری معادل ۸۰۰/۵۸۰/۴۷۲/۷۳۰/۴۶۰ متر خواهد بود.

طبقه‌بندی سیاهچاله‌ها:

سیاهچاله‌ها بر اساس سه ویژگی جرم، چرخش و بار تقسیم‌بندی می‌شوند. بر اساس این ویژگی‌ها، دانشمندان چهار نوع سیاهچاله را شناسایی کرده‌اند.

اولین نوع آنها سیاهچاله‌ای اولیه Primordial Black Hole هستند و کمتر از یک دهم میلی متر قطر دارند و جرمی برابر جرم سیاره زمین دارند.

سیاهچاله‌های اولیه یک طبقه صرفاً فرضی از سیاهچاله‌ها هستند و اعتقاد بر این است که مدت کمی پس از "بیگ بنگ" شکل گرفته اند.

بر طبق یک نظریه که استیون هاوکنگ در سال ۱۳۵۱/۱۹۷۲ مطرح کرد، این سیاهچاله‌ها می‌توانند یکی از نامزدهای (ماده تاریک) در جهان باشند.

نوع دوم آنها سیاهچاله ستاره‌ای هستند که جرم آنها در حدود ۴ تا ۱۵ برابر جرم خورشید است و از یک ستاره عظیم که در پایان عمر خود رمبش هسته‌ای را تجربه کرده است، به وجود آمده اند.

نوع سوم آنها سیاهچاله با جرم متوسط (Intermediate-mass black hole) هستند که از یک انفجار ابرنواختر ی پدید آمده‌اند و با بلعیدن مقدار زیادی ماده جرم آنها بیش از جرم سیاهچاله ستاره‌ای و کمتر از ابر سیاهچاله‌ای پرجرم رسیده است.

آخرین نوع سیاهچاله‌ها، ابر سیاهچاله‌های پر جرم هستند که در بیشتر مراکز کهکشان‌ها وجود دارند و جرم آنها بسته به اندازه کهکشان میلیون‌ها تا میلیارد برابر جرم خورشید است.

البته قابل ذکر است سیاهچاله‌هایی نیز وجود دارند که بر اساس تنها یک ویژگی از سه ویژگی ذکر شده شناخته شده هستند که یکی از آنها "سیاهچاله شوارتس شیلد" (Schwarzschild Black Hole) است که چرخش و هیچ بار الکتریکی ندارد و فقط توسط جرمش شناخته شده است.

یکی دیگر از این نوع سیاهچاله‌ها " سیاهچاله کر " (Kerr Black Hole) هستند که به عنوان یک سیاهچاله چرخشی شناخته می‌شود زیرا چرخش دارد اما بار الکتریکی ندارد.

آخرین نوع نیز موسوم به " سیاهچاله‌های باردار " هستند که به (Charged Black Hole) موسومند زیرا همانطور که از نامشان پیداست بار دارد اما چرخش ندارد.

تاریخچه سیاهچاله

در سال ۱۹۱۵ / ۱۲۹۴، انیشتین در نظریه "نسبیت عام" خود وجود سیاهچاله‌ها را پیش بینی کرد.

نظریه " نسبیت عام " آلبرت انیشتین گرانش را به عنوان یک عامل هندسی و نه یک نیرو بررسی می‌کند. در این نظریه فضا-زمان توسط "هندسهٔ ریمانی" (شاخه‌ای از هندسه دیفرانسیل) است، بررسی می‌شود. در سال ۱۹۱۶ فیزیکدان و اخترشناس آلمانی " کارل شوارتزشیلد " (Karl Schwarzschild) نخستین کسی بود که با استفاده از نظریه نسبیت عام، شرایط حدی نسبیت را توصیف کرد. شوارتزشیلد در محاسبات خود به این نتیجه رسید که نقطه تکینگی، فضا - زمان را در حالت حدی تعریف می‌کند.

وی معتقد بود که در شرایط حدی یک نقطه تکینگی در فضا - زمان به وجود می‌آید و این تکینگی آنچنان چاله عمیقی گرانشی در فضا - زمان ایجاد می‌کند که حتی سرعت نور هم برای فرار از آن کافی نخواهد بود. شوارتزشیلد به همین منظور نظریه " شعاع شوارتزشیلد "

(Schwarzschild Radius) را مطرح کرد. و در این نظریه جوابی برای یکی از مسائل نسبیت عام انیشتین یافت که حاکی از مفهومی به نام سیاهچاله کروی بود.

او نشان داد که اگر جرم یک ستاره در ناحیه‌ای به اندازه کافی کوچک متمرکز شود، میدان گرانشی در سطح ستاره چنان قوی می‌شود که حتی نور توان گریز از آن را ندارد. همان چیزی است که هم اکنون سیاهچاله می‌نامیم.

ناحیه‌ای از فضا زمان که به افق رویداد محدود شده است و امکان ندارد از آن، چیزی از جمله نور به ناظری دوردست برسد. شعاع شوارتزشیلد شعاعی است که بر طبق معادلات متریک برای سیاهچاله‌ها تعیین می‌شود. شعاع شوارتزشیلد نام شعاعی در فیزیک است که تمام اجسام با هر جرمی که در آن وارد می‌شوند در یک جا جمع می‌شوند که به آن نقطه تکینگی (Gravitational singularity) گفته می‌شود به این منطقه، افق رویداد گفته می‌شود.

بر طبق متریک شوارتزشیلد هرگاه یک جسم شعاعش از شعاع شوارتزشیلد خودش کمتر شود به یک سیاهچاله تبدیل شده است. یعنی اجسام دیگر قبل از رسیدن به سطح جسم در شعاع شوارتزشیلد گرفتار جاذبه خیلی شدیدی می‌شوند ولی اگر شعاع شوارتزشیلد درون جسم قرار بگیرد یعنی کوچکتر از شعاع آن باشد، آن جسم خواص سیاهچاله را ندارد.

سال‌ها بعد در سال ۱۹۳۱ این موضوع توسط اخترفیزیکدان هندی – آمریکایی به نام " سوبرامانیان چاندراسخار" (Subrahmanyam Chandrasekhar) دنبال شد و وی حداکثر جرمی که یک ستاره می‌تواند قبل از تبدیل شدن به یک سیاهچاله داشته باشد را محاسبه کرد. این محاسبات او به نام " حد چاندراسخار" (Limit Chandrasekhar) شناخته می‌شوند.

حد چاندرااسخار نام حدی در نجوم است که وضعیت ستاره بعد از انفجار را مشخص می‌کند به طوری که اگر جرم هسته ستاره بعد از انفجار از حد چاندرااسخار کمتر بود هسته ستاره به کوتوله سفید تغییر می‌کند (خورشید در این دسته جای می‌گیرد) و اگر بیشتر بود هسته ستاره به ستاره نوترونی یا سیاهچاله تبدیل می‌گردد. این مقدار را فیزیکدان هندی سوبرامانیا چاندرااسخار به دست آورد. مقدار این حد تقریباً برابر $1/4$ جرم خورشید است.

او متوجه شد که در صورت پایان یافتن سوخت یک ستاره و توقف چرخه تولید عناصر سنگین تر، فشار گرانشی عظیم آن در یک نقطه متمرکز شده و موجب "رمبش" فضا-زمان خواهد شد. با اینکه سه دانشمند فوق تلاش‌های مهمی برای درک افراد از سیاهچاله ارائه داده بودند اما تکینگی اختریفی‌یکی در بهترین حالت بسیار نادر تصور می‌شد.

در همان سال "کارل گوت جنسکی" (Karl Jansky) فیزیکدان و ستاره‌شناسی رادیویی آمریکایی که توسط بسیاری به عنوان "پدر نجوم رادیویی" شناخته شده است، یک سیگنال رادیویی که از مرکز کهکشان راه شیری در جهت صورت فلکی قوس شکل گرفته بود را کشف کرد. این منبع رادیویی بعدها به عنوان ابرسیاهچاله پر جرم قوس‌ای * شناخته شد.

از دهه ۱۹۶۰، "عصر طلایی نسبیت عام" آغاز شد به گونه‌ای که نسبیت عام و سیاهچاله‌ها تبدیل به موضوع اصلی تحقیق دانشمندان شدند. برای مثال در سال ۱۹۶۷ "ژوسلین بل بورنل"

(Jocelyn Bell Burnell) موفق به کشف تپ اخترها شد و در سال ۱۹۶۹ نشان داد که آنها ستاره‌های نوترونی چرخانی هستند که با سرعت بسیار زیادی دوران می‌کنند و پالس‌های مداومی از انرژی تابشی به همراه خطوط میدان مغناطیسی قوی را از خود منتشر می‌کنند. برخی از تپ

اخترها نیز پرتوهای ایکس تابش می‌کنند. ستاره‌ها ی نوترونی در حقیقت بقایای هستهٔ ستارهٔ منفجر شده‌ای هستند که حجم کوچک و چگالی بسیار بالایی دارند.

اوایل دهه ۱۹۷۰ استیون‌ها و کینگ فیزیکدان نامی بریتانیایی پا به عرصه علم گذاشت و تحقیقات او و دیگر دانشمندان فیزیک نظری، به ترمودینامیک سیاهچاله منجر شد.

ترمودینامیک سیاهچاله‌ها نیز همانند ترمودینامیک، رابطه بین جرم و انرژی، ناحیه و انتروپی و گرانشی و درجه حرارت را بیان می‌کند.

ترمودینامیک سیاهچاله‌ها شاخه‌ای از علم فیزیک است که به مطالعه قوانین ترمودینامیک در افق رویداد سیاهچاله می‌پردازد.

به همان اندازه که مطالعه مکانیک آماری مربوط به تابش سیاهچاله‌ها منجر به ظهور تئوری مکانیک کوانتمی شد، تلاش برای فهمیدن مکانیک آماری سیاهچاله‌ها تأثیر شدیدی روی درک گرانش کوانتمی داشت که در نهایت منجر به فرمول بندی اصل تمام نگاری (holographic principle) شد.

هاوکینگ معتقد بود که سیاهچاله‌ها حرارت دارند و چون اجسام داغ گرما از دست می‌دهند، در نهایت تبخیر شده و ناپدید می‌شوند.

در سال ۱۹۷۰ میلادی نیز دانشمندی به نام "یاکوب بکنشتاین" مطرح کرد که آنتروپی سیاهچاله‌ها با منطقه‌ای در سیاهچاله به نام "افق رویداد" مرتبط است و بیشینه آنتروپی سیاهچاله اندازه مشخصی دارد.

در فیزیک نظری، نظریهٔ میدان‌ها ی کوانتمی (QFT) چارچوبی نظری برای ساختن مدل‌ها ی مکانیک کوانتومی از ذرات زیر اتمی در فیزیک ذرات و شبه ذره‌ها در فیزیک ماده چگال است.

یک نظریه میدان کوانتومی، ذرات را به شکل حالاتی برانگیخته از میدان فیزیکی زمینه می‌بیند، به همین دلیل این ذرات "کوانتای" میدان نامیده می‌شوند.

کارهای‌ها و کینگ به توضیح نتایج "یاکوب بکنشتاین" کمک کرد و ها و کینگ در سال ۱۹۷۴، نظریه‌ای را درباره سیاهچاله‌ها ارائه کرد که در آن عنوان شده بود که با وجود جاذبه و جرم عظیمی که این هیولاهای فضایی دارند، امواج رادیویی در شرایطی خاص از دام آنها خارج و به سوی فضا گسیل می‌شوند.

نظریه "تابش‌ها و کینگ" چیست؟ این نظریه در واقع تابش جسم سیاه است که پیش بینی می‌شود به خاطر تأثیر کوانتومی در نزدیکی افق رویداد، از سیاهچاله تابیده شده باشد. این نظریه بر اساس نظریه میدان‌ها ی کوانتومی و نسبیت عام انیشتین ارائه شد.

تابش‌ها و کینگ باعث کاهش جرم و انرژی سیاهچاله می‌شود که به تبخیر سیاهچاله منجر می‌شود.

به همین خاطر سیاهچاله‌ها یی که جرم آن‌ها به روش دیگری افزایش نمی‌یابد با گذر زمان جرم آن کاهش یافته و در پایان، از بین می‌روند. پیش بینی می‌شود که تابش ریز سیاهچاله‌ها ، بیشتر از سیاهچاله‌ها ی بزرگ تر باشد. بنابراین با سرعت بیشتری کوچک شده و از میان می‌رود.

ها و کینگ در مقاله خود به دنبال یافتن این مساله بوده است که برای اشیایی که در سیاهچاله می‌افتند، چه اتفاقی می‌افتد. وی در سال ۲۰۱۵ اعلام کرد که سیاهچاله‌ها در اصل "خاکستری" بوده اند. ها و کینگ و همکارانش در مقاله جدید اظهار کرده‌اند که اگر اطلاعات توسط سیاهچاله‌ها بلعیده شوند، آنتروپی آنها تغییر خواهند کرد.

وی اعلام کرده که یک سیاهچاله کوچک به اندازه یک کوه، پرتو ایکس و پرتو گاما از خود به اندازه ۱۰ میلیون مگاوات ساطع می‌کند که برای تأمین برق تمام جهان کافی است. ها و کینگ خودش هشدار داده که احتمالاً بسیار سخت خواهد بود که بدون آنکه این انرژی به انسان‌ها آسیب بزند و تمدن بشری را نابود کند، بتوان از آن استفاده کرد و سیاهچاله را به اصطلاح تحت کنترل خود درآورد.

یک راهکار این است که سیاهچاله در مدار زمین و فاصله مناسب از ما قرار بگیرد تا بتوان از انرژی ساطع شده آن استفاده کرد.

همیشه پای یک زن در میان است.

"کیتی بومن" (Katie Bouman) محقق است که توانست با کشف یک الگوریتم به ثبت اولین تصویر رسمی از یک سیاهچاله کمک کند. "کیتی بومن" (Katie Bouman) محقق فارغ التحصیل شده از دانشگاه "ام‌ای تی" موفق شد در سال ۲۰۱۷ یک الگوریتم را برای تلسکوپ "افق رویداد" بنویسد که در نهایت منجر به ثبت اولین تصویر از یک سیاهچاله موسوم به "ساگیتاریوس A" شود.

تصویر رسمی این سیاهچاله پس از ۱۰۴ سال از پیشنهاد وجود آن نه تنها نظریه نسبیت عام انیشتین را به اثبات رساند بلکه برای بار دیگر نبوغ آلبرت انیشتین را به رخ تمام جهانیان کشید. اکنون می‌بایست مشتاقانه منتظر اثبات نظریه کرم چاله و سفر در زمان نیز باشیم.

چگونه سیاهچاله شناسایی شد؟

از آنجا که سیاهچاله‌ها هیچ انرژی را بازتاب نمی‌دهند و هیچ چیز (حتی نور) نمی‌تواند از آنها فرار کند به همین دلیل شناسایی آنها بسیار سخت است. با این حال، برای چندین دهه، دانشمندان توانسته‌اند با مطالعه دنیای اطراف سیاهچاله، اطلاعاتی درباره آن بدست آورند.

آنها طی مطالعاتی تأثیر گرانشی سیاهچاله‌ها بر روی ستاره‌های نزدیک و اجرام آسمانی اطرافشان را مورد بررسی قرار دادند. به عنوان مثال، از سال ۱۹۹۵، ستاره شناسان حرکت‌های ۹۰ ستاره را که در حال چرخش در اطراف سیاهچاله قوس‌ای * یعنی مرکز کهکشان را شیری هستند، را ردیابی مطالعه کردند.

بر اساس مدارهای این ستارگان، اخترشناسان توانستند نتیجه بگیرند که قوس‌ای * دارای جرمی برابر حداقل $۲/۶$ میلیون برابر جرم خورشید است که این عدد مدتی بعد به $۴/۳$ میلیون تغییر کرد. یکی از این ستاره‌ها بی که آنها مورد بررسی قرار داده بودند ستاره‌ای به نام "S۲" بود.

این ستاره با سیاهچاله‌ها در ارتباط بود چرا که مانند سیاهچاله قدرت انتشار بالایی در اشعه ماورا بنفش، اشعه ایکس و طول موج‌های اشعه گاما و فواره‌های نسبیتی داشت و دقیقاً زمانی که یک ماده به داخل مدار دور سیاهچاله می‌افتاد، این ستاره مانند یک قرص برافزایشی به دور سیاهچاله عمل می‌کرد.

کاهش گرانشی قدرتمند سیاهچاله انرژی را به این قرص برافزایشی منتقل می‌کند و باعث می‌شود که به سرعت بچرخد و با ایجاد اصطکاک بین ذرات گرم شود. این باعث می‌شود که ماده در قرص برافزایشی، انرژی را به صورت تابش الکترومغناطیسی در طول موج‌های مختلف منتشر کند.

فناوری‌هایی که این امکان را فراهم ساخت تا دانشمندان بتوانند این تصاویر این ستاره را ثبت کنند ابزارهای بسیار حساس و تلسکوپ‌های فوق پیشرفته‌ای بودند که قادر به گرفتن تصاویر از جهان ما در قسمت‌های قابل مشاهده و غیر قابل مشاهده و در طیف‌های مختلف بودند.

طی این پروژه مهم دانشمندان از تلسکوپ افق رویداد استفاده کردند.

فیزیک سیاهچاله‌ها* ۳۱

این تلسکوپ از کوبل کردن تعدادی از رصدخانه‌های رادیویی عظیم در سراسر جهان تشکیل شده است تا کار یک تلسکوپ بزرگ (به اندازه زمین) با حساسیت و رزولوشن بالا را انجام دهد.

این تلسکوپ با استفاده از تکنیک تداخل سنجی (VLBI) کوبل کردن بسیاری از آنتن‌های رادیویی مستقل که صدها یا هزاران مایل از هم فاصله داشتند توانست به مثابه یک تلسکوپ با قطر مؤثر کل زمین مورد استفاده قرار گیرند.

تصویر سیاهچاله شکار شده توسط شبکه‌ای از هشت تلسکوپ در سراسر جهان ثبت شده است.

نام هشت تلسکوپی که موفق به ثبت تصویر این سیاهچاله شدند عبارتند از:

۱- آرایه میلی متری بزرگ آتاکاما (Atacama Large Millimeter Array)

۲- تلسکوپ رادیویی ای پی ای ایکس (Atacama Pathfinder Experiment)

۳- تلسکوپ زیر میلیمتری‌ها ینریش هرتز (Heinrich Hertz Submillimeter Telescope)

۴- تلسکوپ رادیویی "IRAM ۳m millimeter Telescope".

۵- تلسکوپ جیمز کلرک ماکسول (James Clerk Maxwell Telescope)

۶- تلسکوپ "ال ام تی" (Large Millimeter Telescope)

۷- تلسکوپ "South Pole"

۸- تلسکوپ رادیویی "Submillimeter Array"

دانشمندان توسط این تلسکوپ توانستند تصویر این سیاهچاله را در کهکشانی به نام ۸۷M قرار دارد ثبت کنند بنا بر گفته آنها اندازه این سیاهچاله از اندازه کل منظومه شمسی هم بزرگ تر است.

جرم این سیاهچاله ۶/۵ میلیارد برابر خورشید است و یکی از سنگین ترین سیاهچاله‌ها یی است که گمان می‌رود وجود داشته باشد. مسیه ۸۷ یا ۸۷M بزرگترین کهکشان در بخش شمالی خوشه سنبله است که در فاصله ۶۰ میلیون سال نوری از ما قرار دارد.

داده‌های جمع آوری شده توسط تلسکوپ، به‌ها رد دیسک‌ها، ارسال و توسط هواپیما به رصدخانه MIT Haystack در ماساچوست، ایالات متحده آمریکا، و مؤسسه ماکس پلانک دپارتمان نجوم رادیویی واقع در بن آلمان منتقل داده شد. پس از آن داده‌ها به صورت مقاطع و با استفاده از ۸۰۰ کامپیوتر که توسط یک شبکه ۴۰ گیگا بایت / ثانیه متصل می‌شدند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

قرار بود نخستین تصویر را در آوریل ۲۰۱۷ منتشر کنند، ولی این امر به دلیل اینکه تلسکوپ South Pole در زمستان (آوریل تا اکتبر) غیر فعال بود، به تعویق افتاد. واین عوامل سبب شد تا پردازش داده‌ها به تعویق بیافتد، بنابراین نخستین تصویر ۱۰ آوریل ۲۰۱۹ منتشر شد.

تصویری مبهم و گرد که بسیاری را در جهان شگفت زده کرده و البته نظریه انیشتین را هم درباره سیاهچاله تا اندازه‌ای تایید کرده است.

این تصویر در واقع ترکیبی از تصاویری است که از پنج پتابایت اطلاعات تصویری توسط تلسکوپ‌های مختلف در نقاط مختلف جهان گرفته شده است.

پروسه کوبل داده‌های گرفته شده با هم، ساده نبوده و چهار تیم به طور جداگانه در حال کار روی آن بودند. داده‌های به دست آمده از هر چهار تیم بسیار شبیه به هم بوده است.

عکسبرداری از سیاهچاله به کمک شبکه‌ای از تلسکوپ‌ها

در واقع این عکسبرداری را می‌توانیم مدیون دانشجوی دانشگاه MIT خانم کتی بومن

(Katie Bouman) بدانیم وی در واقع الگوریتمی نوشت که منجر به عکسبرداری از این سیاهچاله شد.

خانم بومن بعد از انتشار عکس سیاهچاله، عکسی از خودش را در صفحه فیس بوک خاص خود منتشر کرد که تصویر سیاهچاله را روی کامپیوتر در مقابلش دارد و با خوشحالی و هیجان به دوربین نگاه می‌کند.

شبکه تلسکوپ‌های رادیویی که توانستند عکس سیاهچاله را

بگیرند

در واقع می‌توان گفت آنچه به ایجاد چنین تصویری از سیاهچاله منجر شد رشد و توسعه فناوری کامپیوتر و هوش مصنوعی بوده است. و خانم بومن هم سر رشته در چنین تکنولوژی داشته است.

برای عکاسی از چیزی به عظمت سیاهچاله‌ها نیاز به تلسکوپ رادیویی با قطر ۱۰ هزار کیلومتر می‌باشد که چنین دستگاهی از قطر کره زمین هم بزرگ تر می‌شود. و ساخت آن به یک افسانه شبیه است.

اما این کار با کوبل چند مجموعه تلسکوپ را دیوبی در اقصی نقاط جهان میسور است به همین دلیل رسیدن به این عکس با کمک شبکه‌ای شامل از هشت مجموعه رادیو تلسکوپ زمینی به نام پروژه تلسکوپ افق رویداد صورت گرفته است.

کتی بومن در طی یک سخنرانی که در مرکز پژوهشی TED انجام داد تکنیک خود در عکس برداری از سیاهچاله را توضیح داده بود هرچند شاید حرفهای وی را کسی جدی تلقی نمی‌کرد.

ما در این قسمت صحبت‌های ایشان را می‌آوریم:

چگونه از یک سیاهچاله عکس بگیریم؟

در فیلم "میان ستاره‌ای" تصویر نزدیکی از یک ابر سیاهچاله پر جرم داریم. تصویری که سیاهچاله را در میان‌ها له‌ای از گازهای درخشان نشان می‌دهد، در این فیلم دیده می‌شود که چگونه کشش گرانشی سیاهچاله نور را به شکل حلقه خم می‌کند.

گر چه این یک فیلم واقعی نیست، و صرفاً یک اثر گرافیکی کامپیوتری است، اما تفسیری هنرمندانه از آنچه که باید یک سیاهچاله باشد ارائه می‌دهد.

صد سال پیش، آلبرت انیشتین اولین بار تئوری نسبیت عام خود را منتشر کرد. در سالهای بعد از آن، دانشمندان در اثبات نتایج آن شواهد زیادی بدست آوردند.

اما نتیجه مهم آن که در این تئوری پیشگویی می‌شد یعنی سیاهچاله‌ها، هنوز به صورت مستقیم مشاهده نشده است.

خوب ما به یاری انیشتین شتافتیم، ما ایده‌ای داریم که می‌تواند این مشکل را حل کند و این معضل خیلی زود ممکن است رفع شود. ما ممکن است اولین عکس خودمان از سیاهچاله‌ها را تا دو سال دیگر ببینیم.

برای حل این مشکل یک تیم بین المللی از دانشمندان و محققین مشغول کار روی پروژه‌ای هستند که حاوی یک رادیو تلسکوپ با سایز کره زمین و الگوریتمی ویژه جهت سازمان دهی به داده‌های نهایی می‌باشد.

من امروز نیامده‌ام تا یک عکس واقعی از سیاهچاله‌ای را به شما نشان بدهم، ولی یک دید عمیق و در عین حال اجمالی در باره عکسبرداری از سیاهچاله‌ها به شما می‌دهم.

اسم من کتی بومان است، و من دانشجوی دکترا درام‌ای تی هستم. در آزمایشگاه علوم کامپیوتری تحقیق می‌کنم با وجود این که ستاره شناس نیستم، امروز مایلیم به شما نشان دهیم که چطور قادرم در این پروژه هیجان انگیز به منجمان کمک کنم.

اگر شما امشب از روشنایی نور شهر خارج شوید، ممکن است آن قدر خوش شانس باشید که تصویر عالی از کهکشان راه شیری را ببینید. و اگر شما بتوانید در میان میلیون‌ها ستاره به عمق $۲۶/۰۰۰$ سال نوری داخل شوید و به سوی قلب کهکشان راه شیری ماریچی نفوذ کنید، در نهایت به اجتماعی عظیم از ستاره‌ها درست در مرکز کهکشان راه شیری می‌رسید. با کنار زدن همه غبارهای کهکشانی توسط تلسکوپ مادون قرمز، متوجه ستارگانی می‌شوید که به نظر یک شی غیر قابل رویت را دور می‌زنند. با محاسبه مسیر این ستاره‌ها، اخترشناسان نتیجه گرفته‌اند که تنها جرم کوچک و سنگین که بتواند این حرکت را ایجاد کند چیزی جز یک ابرسیاهچاله پرجرم نیست و یک جرم عظیم که هر آنچه که جرات نزدیک شدن به آن داشته باشد را می‌بلعد حتی نور، آیا اگر به آن نزدیک شویم ممکن است چیزی را ببینیم، که به تعریف، دیدنش غیرممکن باشد؟

خوب اگر ما به طول موجهای رادیویی متمرکز شویم و رصد کنیم انتظار داریم حلقه نوری را ببینیم که به دلیل گرانش پلاسمای داغ در اطراف سیاهچاله فشرده می‌شود.

به عبارت دیگر، سیاهچاله به صورت یک سایه در پشت این مواد نورانی قرار می‌گیرد، یعنی یک کره تاریک در میان حلقه‌ای روشن، در واقع مرز بین تاریکی و روشنی منطقه افق رویداد سیاهچاله را آشکار می‌کند. جایی که کشش گرانشی چنان می‌شود که حتی نور هم نمیتواند از آن فرار کند.

معادلات انیشتین سائز و شکل این حلقه را پیش بینی می‌کند. بنابراین گرفتن عکس از آن نه تنها فوق العاده است بلکه می‌تواند محکی باشد برای آنکه ببینیم آن معادلات در شرایط حدی اطراف سیاهچاله تا چه مقدار اعتبار دارد.

اما باید خاطر نشان کرد که این سیاهچاله‌ها خیلی از ما دور هستند پس لاجرم این حلقه می‌بایست خیلی کوچک ظاهر شود، تشخیص آن به مثابه تشخیص یک پرتقال در کره ماه از زمین می‌باشد، لاجرم گرفتن عکس از آن بسیار مشکل می‌باشد.

خوب، مشخص است برای این کار می‌بایست از تکنیکی استفاده کرد که بتوانیم به اندازه زیاد تلسکوپ‌ها ی خود را بزرگ و قدرت تفکیک آنها را بالا ببریم و برای این کار می‌بایست چندین تلسکوپ را با هم کوبل کنیم تا به مثابه یک تلسکوپ عظیم کار کنند. که به این تکنیک تداخل می‌گویند، ما می‌دانیم که برای دیدن اشیاء کوچک و کوچکتر ما احتیاج داریم که تلسکوپ‌ها ی بزرگ و بزرگتر بسازیم.

پس تلسکوپی که نیاز داریم تا بتوانیم یک پرتقال را روی سطح ماه ببینیم باید چقدر بزرگ باشد؟ و حالا چگونه با تعمیر آن می‌توان یک سیاهچاله را ببینیم؟ با تحلیل داده‌ها می‌توانید حساب کنید که برای دیدن یک سیاهچاله به تلسکوپی نیازمندیم که در سائزش برابر کل قطر زمین باشد.

اگر می‌توانستیم تلسکوپی با این مقیاس بسازیم، می‌توانستیم از آن حلقه نوری مشخص عکس برداری کنید که در واقع منطقه حضور سیاهچاله است. با این حال این تصویر شامل همه جزئیاتی نخواهد بود و فقط به ما اجازه می‌دهد که دیدگاهی اجمالی از محیط اطراف سیاهچاله پیدا کنیم.

هر چند، همان طور که تصور می‌کنید، ساختن یک تک دیش تلسکوپ با بزرگی زمین غیرممکن است. اما یک نقل قول معروفی از میک چاچر هست، « شما نمی‌توانید به هر آنچه می‌خواهید برسید اما اگر برای چیزی تلاش کنید، ممکن است به آنچه احتیاج دارید برسید »

پس ما سعی داریم در پروژه‌ای با عنوان افق رویداد با کوبل کردن رادیو تلسکوپها در همه دنیا، یک همکاری بین المللی ایجاد کرده و با تحلیل داده‌های آنها یک رادیو تلسکوپ کامپیوتری در سائز زمین بسازیم، که قادر باشد منطقه افق رویداد یک سیاهچاله را عکس برداری و آشکار سازی کند.

من این قول را به شما می‌دهم که این شبکه تلسکوپی طوری برنامه ریزی شده که حداقل تا سال آینده اولین تصویر را از یک سیاهچاله بگیرد. در این پروژه هر کدام از تلسکوپها که در شبکه جهانی با هم همکاری دارند طوری هماهنگ شده‌اند که از طریق زمانبندی ساعت‌های اتمی دقیق، با جمع آوری هزاران ترابایت از داده‌های اطلاعاتی را گرفته و به اصطلاح منجمد می‌کنند و سپس این داده‌ها را به آزمایشگاهی در ماساچوست می‌فرستد.

چطور این اتفاق می‌افتد؟

یادمان باشد اگر ما بخواهیم که آن سیاهچاله در مرکز کهکشانشانمان را ببینیم نیازمندیم که یک تلسکوپ غیرممکن در سائز زمین بسازیم.

برای اینکه این پروژه به ذهن شما نزدیک شود کافست که ما زمین را به مثابه یک گوی دوار آینه کاری شده در نظر بگیریم. که هر قطعه آینه به طور مجزا به گونه‌ای بر سطح آن چسبیده که در نهایت کل گوی آینه کاری شده به نظر برسد. هر کدام از آینه‌ها مجزا نور را جمع می‌کند و به چشم ما بازتاب می‌کند تا ما بتوانیم با ترکیب تصاویر به یک تصویر واحد برسیم.

حال این حالت را در نظر بگیرید که از هر ردیف از آینه‌ها بی چسبان تعدادی از آینه‌ها را حذف کنیم فقط به تعداد نه چندان زیادی از آینه‌ها اکتفا کنیم اما هنوز با دقت کردن در گوی چرخان شما می‌توانید تشخیص دهید که این آینه‌ها تصویر چه چیز را بازتاب می‌کنند و علی‌رغم کم شدن آینه‌ها مثل اینکه در تحلیل داده‌ها تغییر محسوسی اتفاق نیافتاده است. هنوز ذهن شما این اطلاعات را با هم ترکیب کرده و تصویری واحد ارائه می‌دهد.

این آینه‌ها ی باقی مانده به مثابه موقعیت‌ها ی رادیو تلسکوپ ها ی پروژه ما روی زمین است با وجود این که ما فقط نور تعداد کمی رادیو تلسکوپ پراکنده در اقصی نقاط زمین داریم ولی در گردش زمین به دور خود، به دلیل اینکه دائما جای رادیو تلسکوپ‌ها عوض می‌شود می‌تواند از جاهای مختلف شیئی که مد نظر ماست عکسبرداری کند اگر ما الگوریتمی بسازیم که این داده‌ها را بگیرد و مانند ذهن در آینه‌ها پردازش کند و در نهایت تصویری واحد ارائه دهد ما به مطلوب خود دست پیدا کرده ایم.

خوب، پس، نقش من در گرفتن اولین تصویر از سیاهچاله مشخص شد، طراحی الگوریتمی که یک تصویر قابل قبول از داده‌ها ارائه دهد.

درست مثل یک هنرمند طراح که از تعریف‌های محدود استفاده می‌کند تا یک تصویر درست را طراحی کند به هر حال وی برای این کار لاجرم باید در تکنیک طراحی چهره مهارت لازم و کافی را داشته باشد من هم مجبورم

برای طراحی الگوریتمهای تصویرسازی از داده محدود تلسکوپها استفاده می‌کنم مشروط به آنکه از دانش شکل سیاهچاله‌ها اطلاعات لازم را داشته باشم تا در نهایت تصویری حاصل شود که شبیه اجسام دنیای ما باشد و مردم آن را بپسندند.

در مرحله اول من طبق اطلاعاتی که از سیاهچاله‌ها دارم نمونه‌ای از این سیاهچاله‌ها را در سیستم خود باز سازی می‌کنم چرا که در عملیات پردازش تصاویری که از تلسکوپ‌ها می‌آیند ما با وفوری از داده‌ها مواجه هستیم با این شبیه سازی که از قبل انجام داده ایم می‌توانیم بهترین داده‌ها که به الگوی مانزدیک است انتخاب و سایر داده‌ها را حذف کنیم.

خوب در مثالی که شما توسط گوی گردان آینه‌ای می‌خواهید چهره یک شخص را تشخیص بدهید یا عکسی از آن بردارید وفور همین داده‌ها وجود دارد ولی چون شما در نهایت سیمای یک انسان را می‌شناسید می‌توانید که تشخیص دهید که کدام داده ارزش نگه داری دارد و کدام ندارد ولی در مورد سیاهچاله که شما این قدرت تشخیص را ندارید چرا که تا به حال سیاهچاله‌ای را ندیده اید پس این شبیه سازی قبل از تحلیل داده‌ها می‌تواند بسیار برای شما را گشا باشد.

اما شاید این سوال برای شما پیش بیاید اگر قرار باشد که من چیزی را که هیچ کس ندیده شبیه سازی کنم شاید فرد دیگری که او هم این شی را ندیده چیز دیگری طراحی کند و شخص دیگر چیز دیگری خوب در این صورت چگونه می‌شود؟ با این فرض من چگونه به شما بگویم آنچه که من از داده‌ها تحلیل کرده‌ام و انتخاب کرده‌ام درست باست؟ چرا که فرد دیگر قسمت دیگری از داده‌ها را انتخاب می‌کند و کس دیگر پاره‌ای دیگر را و در نهایت هیچ کدام به هم شباهتی ندارند.

برای فرار از این نتایج اسف باری کا فیست که این سه نفر را روی چیزی که دیده شده ولی ان سه نفر اطلاعی از آن ندارند امتحان کرد، اگر سه نفر تصویری مثل هم ارائه دادند جای نگرانی نیست می‌توان گفت که تحلیل شخصی خود را در تحلیل داده‌ها لحاظ نمی‌کنند ولی اگر این طور نشد باید شک کرد، خوب ما در تحلیل داده‌ها ی تلسکوپ‌ها بنا بر چهارچوب‌هایی که از معادلات نسبیت عامی و گرانش ننتایجی بدست می‌آوریم، قبل از این که این تحلیل‌ها را برای سیاهچاله که تابحال دیده نشده به کار بندیم آن را در مورد اجرام آسمانی که تا به حال رصد شده مورد استفاده قرار می‌دهیم اگر تحلیل داده‌ها در نهایت منجر به همان جرم یا نزدیک به آن شد می‌توان گفت که در مورد سیاهچاله‌ها هم خیلی به خطا نمی‌رود..

در واقع این عکس برداری به مثابه پازلی است متشکل از بسیاری از قطعات ریز که شما می‌بایست هر کدام را تحلیل و در جای مناسب خود قرار دهید و برای این کار احتیاج به کار تیمی و گروهی است. که من امتیاز کار کردن با آنها را دارم.

هنوز متعجبم از اینکه من در این پروژه بدون هیچ زمینه قبلی وارد عرصه اخترشناسی شدم ، ولی به یومن این همکاری بی همتا حاصل توانستیم زمینه ساز گرفتن اولین تصویر از یک سیاهچاله باشیم و این اهمیت کار بین رشته‌ای در دوره معاصر را گوشزد می‌کند.

پروژه‌های بزرگی شبیه "تلسکوپ افق رویداد" به دلیل احتیاج به همه تخصص‌های یک پروژه بین رشته‌ای محسوب می‌شود که هر رشته‌ای می‌تواند مکمل رشته دیگر باشد پازلی مرکب از اخترشناسی، فیزیک، ریاضی و مهندسی. و این نوع همکاری علمی است که ناممکن‌ها را ممکن می‌کند.

من می‌خواهم در اینجست یک توصیه‌ای به همه جوانان و علاقه‌مندان بکنم که در مرزهای علم حرکت کنید و سعی کنید که گامی در جهت

پیشبرد علم بردارید و به دنبال رازهای جهان حتی آن‌ها که به نظر تان دست

نیا فتنیست باشید."

ما در این کتاب که از مجموعه کتابهای « ستاره شناس، برای کسی که به ستاره شناس دسترسی ندارد » به مطالعه فیزیک سیاهچاله‌ها خواهیم پرداخت، و مسائلی چون، تاریخ ایجاد نظریه سیاهچاله‌ها، نسبت خاص و نسبت عام، حد چاندرسکار فیزیک کرم چاله‌ها و گذر از زمان، انواع سیاهچاله‌ها، سفیدچاله‌ها، آشکارسازی سیاهچاله‌ها، امواج گرانشی، لنزهای گرانشی، ترمودینامیک سیاهچاله‌ها، تابش‌ها و کینگ کیهان به عنوان یک سیاهچاله، خواهیم پرداخت و با بیانی ساده و خالی از پیچیدگی‌های فیزیکی و ریاضی سنگین، این اجرام سماوی ناشناخته و اسرارآمیز را مورد مطالعه قرار می‌دهیم، این کتاب مورد استفاده دانش پژوهان کارشناسی فیزیک تدوین شده، و حتماً دارای نقایص و اشکالاتی می‌باشد که امید است که از سوی صاحب نظران برای اصلاح و در چاپ‌های بعدی تذکر داده شود، در پایان از دوستان و همراهانی که در پدید آمدن این کتاب مراباری و همراهی کردند تشکر و قدردانی می‌نمایم، و این کتاب را به پاس قدردانی از همسر عزیزم سرکار خانم لاله اسلامی راد به ایشان تقدیم و زحمات ایشان تشکر و قدردانی می‌نمایم.

من الله التوفیق

مهدی دانشیار-اول اردیبهشت ۱۳۹۸-شهرری

تاریخچه فیزیک سیاهچاله‌ها

سیاهچاله چیست؟

سیاهچاله مکانی در فضا است با نیروی گرانشی چنان قوی که هیچ چیز، حتی نور، با سرعت سریعش نمی‌تواند از دام آن بگریزد.

هر چند سیاهچاله‌ها نخستین بار در ذهن خلاق فیزیکدانان نظری آفریده شده‌اند ولیکن تا حال حاضر احتمالات و تصورات را کشف کرده ایم و انتظار داریم میلیون‌ها عدد از آنها در عالم وجود داشته باشند. این اجرام با اینکه نامرئی هستند ولیکن با محیط اطرافشان دارای برهم کنش هستند و چنان اثری بر آنها می‌گذارند که قابل ردیابی می‌باشد.

اینکه این برهم کنش چگونه است بستگی به فاصله اجرام سماوی از سیاهچاله دارد، اگر بسیار نزدیک باشند فراری در کار نیست اما اگر کمی دورتر باشند پدیده‌های خارق العاده‌ای روی می‌دهد.

کلمه سیاهچاله نخستین بار در سال (۱۹۶۴ م / ۱۳۴۳ ش) در مقاله‌ای از خانم ایوینگ "Ann Ewing" به کار رفت که در گزارشی از یک

کنفرانس در تگزاس را شرح می‌داد ولی خانم ایوینگ اشاره نکرد چه کسی این واژه را ساخته است. در سال (۱۹۶۷ م / ۱۳۴۶ ش) فیزیکدان آمریکایی به نام جان ویلر (John Wheeler) که نیاز به کلمه‌ای برای عبارت «ستاره کاملاً رمبیده» داشت از این کلمه استفاده کرد و این مفهوم ستاره کاملاً رمبیده از جمله مواردی بود که اینه‌ایر وها رتلند روی آن کار می‌کردند و این دو اندیشمند تحت تاثیر اندیشه‌های کارل شوارتزشیلد بودند که محاسباتی را در نسبیّت در سال (۱۹۱۵ م / ۱۲۹۴ ش) انجام داده بود او در طی حل معادلات نسبیّت عام برای توده جرمی غیر چرخان و ایزوله در فضا به نتایجی رسیده بود و بعدها ادینگتن این نتایج را با کارهای سایرین چون چاندرسکار تطبیق داد و زمینه وجود فیزیک اجرامی به نام سیاهچاله را فراهم آورد.

برای بررسی مفهوم سیاهچاله خوب است به این عبارت توجه کنیم «سیاهچاله اجرامی هستند به حدی چگال که حتی نور اجازه گریز از کمند گرانشی آنها را ندارد.» برای آغاز درک چگونگی بروز این رفتار نخست باید یکی از ویژگی‌های مهم دنیای فیزیکی را درک کنیم «سرعت فرار»

سرعت فرار

یکی از قوانین جنگل این است اگر می‌خواهی از دست شکارچی فرار کنی باید بتوانی تندتر از آن بدوی، و این سرعت به عواملی چون قدرت ماهیچه‌ها، آناتومی بدن و چالاکی حیوان بستگی دارد، اما سریعترین موجود در عالم چیست؟

طبق قوانین فیزیک که جرم را مقاومت در برابر حرکت معرفی می‌کند، می‌بایست ذره‌ای باشد که جرم کمتری داشته باشد، اما ما ذراتی داریم که اصلاً جرمی ندارند، مثل فوتون، که سرعتشان حدود ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه است، انیشتین خاطر نشان می‌کند از این سرعت، سریعتر درعالم

نداریم، اگر با این سرعت از تهران به مشهد حرکت کنیم به اندازه ۱/۳۰۰ ثانیه از تهران به مشهد می‌رسیم، از یک چشم به هم زدن هم کمتر اگر با این سرعت به سوی خورشید حرکت کنیم حدود ۸ دقیقه و به سوی نپتون حرکت کنیم چند ساعت در راه خواهیم بود، و بعضی از اجرام سماوی چون کهکشان آندرومدا حدود ۲ میلیون سال طول خواهد کشید تا نورش به ما می‌رسد و این به خاطر کمی سرعت نیست بلکه به علت بعد مسافت و عظمت فضا است.

سرعت فرار در اجرام سماوی

فرض کنید بخواهیم موشکی را به فضا ارسال کنیم، همان طور که می‌دانیم این موشک تحت کمند گرانشی زمین قرار دارد، و تحت جاذبه زمین قرار دارد، اگر بخواهد که براین کمند گرانشی غلبه کند باید، سرعتی داشته باشد موسوم به سرعت فرار، که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{GmM}{R}$$

که مقدار انرژی جنبشی برابر با انرژی پتانسیل حاصل از گرانش شود و از این فرمول بدست می‌آید که

$$v^2 = \frac{2GM}{R} \Rightarrow V_{\text{سرعت فرار}} = \sqrt{2GM/R}$$

همان طور که دیده می‌شود سرعت فرار به عواملی چون G که ثابت گرانش است M که جرم زمین است و R که فاصله موشک تا مرکز زمین است بستگی دارد، نکته شایان توجه این است که اصلاً سرعت فرار به جرم موشک بستگی ندارد.

لذا جرم موشک چه چندین تن باشد چه به اندازه پر کاهی باشد سرعت فرارش یکی است، اما به فاصله موشک تا مرکز زمین ارتباط دارد اگر این فاصله ۶۴۰۰ کیلومتر مثلاً در پایگاه کاناورال باشد سرعت فرار حدود $v_{esc} = 11 \text{ km/s}$ خواهد بود، حال فرض کنید زمین با تمام جرمش ناگهان رمیده شود اگر از همان فاصله ۶۴۰۰ کیلومتری دوباره بخواهیم فرار کنیم سرعت فرار همان است که بود اما اگر از فاصله ۱۶۰۰ کیلومتری بخواهد فرار کند بالتبع سرعت فرار به اندازه ۲ برابر بیشتر خواهد شد حال فرض کنیم فاجعه‌ای اتفاق بیافتد و R به اندازه صفر کوچک شود و سرعت فرار هم از روی آن محاسبه شود. در فاصله بسیار کوتاه یک متر از این تکنیکی سرعت فرا بسیار بزرگتر از فاصله ۱۶۰۰ کیلومتر است و در حدود یک سانتی متری سرعت فرار با سرعت نور برابری خواهد کرد در این فاصله خود نور هم سرعت کافی برای گریختن از این کشش گرانشی را نخواهد داشت این نکته کلیدی در فهم سیاهچاله می‌باشد.

مهم است که کاربرد کلمه «تکنیکی» را روشن کنیم. باورمان این نیست که در پایان ژمبشی گرانشی ماده به نقطه‌ای هندسی تحلیل می‌یابد بلکه در این شرایط نظریه کلاسیک گرانشی دیگر اعتبار ندارد و از آن به بعد وارد دنیای کوانتم می‌شویم، از این به بعد ما برای اشاره به این حالت فوق چگال از اصطلاح تکنیکی استفاده می‌کنیم.

افق رویداد و شعاع شوارزشیلد

اگر چنانچه فرض می‌کنید شما داخل یک سفینه‌ای هستید به گرد زمین و در حال دور شدن از زمین، شما می‌توانید سرعت موتور را تنظیم کرده و با سرعت از کمند گرانشی زمین فرار کنید حال فرض کنید که زمین در حالت تکنیکه قرار گرفته هر قدر شما به زمین نزدیکتر می‌شوید با توجه به

فیزیک سیاهچاله‌ها* ۴۷

رابطه سرعت فرار، می‌بایست تلاش بیشتری برای گریز از این حالت داشته باشید. حال هر قدر به زمین نزدیکتر باشید این صرف انرژی بیشتر است، حال فرض کنید خورشید به حال تکیه درآمده در فاصله سه کیلومتری از خورشید چه خبر است؟

$$V = \sqrt{GM/R} \Rightarrow C = \sqrt{mG/R}$$
$$C^2 = mG/R \Rightarrow R = \frac{mG}{C^2}$$

اگر در رابطه فوق به جای M جرم خورشید جای G ثابت کلی گرانش و به جای C سرعت نور را قرار دهیم، R برابر سه کیلومتر خواهد بود، در این فاصله اگر قرار باشد سفینه از کمند گرانش خورشید بگریزد می‌بایست سرعتی برابر سرعت نور داشته باشد.

و این در فیزیک غیرممکن است، یعنی اگر قبل از فاصله سه کیلومتری در حال تکیه‌گی خورشید از خورشید توانستی بگریزی، توانستی والا قبل از آن دیگر توان گریز از کمند گرانشی خورشید وجود ندارد، این اندازه برای زمین در حدود یک سانتی متری است اما برای اجرامی میلیون‌ها برابر جرم خورشید به مراتب بزرگتر است، به این شعاع به یاد محاسبه کننده آن، شعاع شوارزشیلد می‌گویند. همان طور که در فرمولش مشاهده می‌شود شعاع شوارزشیلد جرمی نقطه‌ای که دور خودش نمی‌چرخد با جرمش نسبت مستقیم دارد. در مرکز بسیاری از کهکشان‌ها چنین سیاهچاله‌ها ی غول پیکری وجود دارد.

یادی از میشل و لاپلاس دانشمندان قرن هجدهم

میشل از جمله دانشمندانی بود که با کسوت روحانیت تحت تاثیر نیوتون قرار گرفته بود و دوست داشت در جهت بسط افکار و اندیشه‌ها ی نیوتون کاری انجام دهد، میشل عقیده داشت که اگر نور را مشتمل از ذراتی

تلقی کند که تابیده می‌شود و هر ذره لاجرم دارای جرمی باشد لذا گرانش ستارگان می‌تواند بر این ذرات تاثیر گذار باشد لذا بر سرعت آنها تاثیر کرده و سرعت آنها را کم کند، بدین لحاظ سرعت نوری که از جانب ستارگان به زمین گسیل می‌شود کندتر از سرعت نور در سطح زمین است برای آزمایش چنین ایده‌ای پیشنهاد داد از آنجا که در اثر برخورد نور با شیشه یا منشور، نور می‌شکند اگر سرعت نور متفاوت باشد شکستگی متفاوت خواهد بود، کاوندیش شاگرد و همراه میشل این مسئله را آزمایش کرد و در نامه‌ای خطاب به میشل که روزگاری با بیماری دست و پنجه نرم می‌کرد نوشت که متأسفانه ایده شما در این خصوص جواب مطلوبی نداشته اما امیدوارم که شما در وزن کشیدن موفق و بهروز باشید ایده‌ای که دو گوی سربی پر جرم به دو میله‌ای نصب می‌شد و از آنها نخ‌ی وصل می‌شد و نخ به سقف آویزان بود و از روی آن شتاب گرانش محاسبه می‌شد این طرح برای میشل بود ولی دست روزگار اجازه آزمایش به او نداد و کاوندیش آن را آزمایش کرد و به نام کاوندیش ثبت وضبط شد.

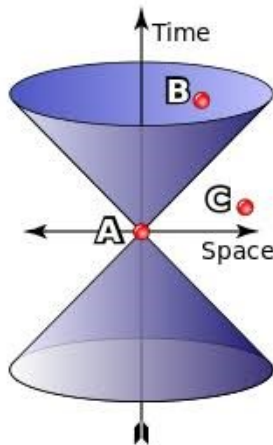
لاپلاس از شاگردان میشل در دوران نپلئون کتابی منتشر کرد و ضمن بررسی بسیاری از پدیده‌ها از نگاه فیزیک نیوتونی اشاره به وجود ستارگانی بزرگ کرد که حدود ۲۵۰ برابر خورشید جرم داشتند و سرعت فرار از روی آنها برابر سرعت نور بود، لاپلاس به آنها ستارگان سیاه می‌گفت اعتقاد داشت که اجران بزرگ آسمان در واقع قابل رؤیت نیستند این اندیشه لاپلاس هم درها له‌ای از ابهام بود چرا که افرادی چون هویگنس مسأله ذره‌ای بودن نور را رد می‌کردند و این چالشی جدی در اندیشه‌ها ی لاپلاس بود به طوری که در ورژن جدیدی از کتاب لاپلاس که بعدها منتشر شد، عملاً فصل مربوط به ستارگان سیاه را حذف کردند، در اندیشه‌ها ی لاپلاس

و میشل این تصور وجود نداشت که ممکن است رمبشی عظیم در کار باشد و شالوده فضا و زمان در جهان به هم پیچیده شود.

نسبیت خاص و نسبیت عام

در سال (۱۹۰۵ م، ۱۲۸۴ ش) دانشمند جوانی، ایده‌ای را ارائه داد که در این ایده سرعت نور سرعت مطلق بود یعنی مقدار آن از سیصد هزار کیلومتر بر ساعت نه بیشتر می‌شد و نه کمتر، و همچنین قوانین فیزیک در محیط‌های غیر شتابدار یکسان بود، این دانشمند جوان کسی نبود به غیر از آلبرت اینشتین بر اساس ایده وی سرعت نور در هر چهارچوبی یکسان بود و همین یکسان بودن سرعت نور در هر چهارچوبی عامل آن می‌شد که در سرعت‌های مختلف نسبت به ناظر ثابت، ریتیم گذشت زمان و اندازه فضا متغیر باشد، در این ایده مساله همزمانی دچار چالش می‌شد و دو حادثه که در یک منظر همزمان بودند ممکن بود که از مناظر دیگر همزمان نباشند و این به خاطر ثابت بودن سرعت نور بود، به طور خلاصه می‌توان چنین گفت که:

اگر سرعت نور مطلق و محدود باشد اگر نموداری را رسم کنیم که یکی مولفه فضا و دیگری زمان را نمایش می‌دهد.



خط عبوری وسط موقعیت جسمی در فضا - زمان را نمایش دهد اگر چنانچه جسمی در خانه‌ای ساکن باشد لاجرم نمودار آن یک خط مستقیم می‌شود که موازی محور t قرار دارد، چرا که در فضا حرکتی وجود ندارد ولیکن در زمان حرکت هست، و اگر در فضا نیز شروع به حرکت کند خط به شکل اریب در خواهد آمد چرا که هم حرکت در فضا است و هم در زمان، هر قدر شیب این خط به سوی زمان بیشتر باشد سرعت جسم به اصطلاح کمتر است چرا که در مدت زمانی طولانی مکان اندکی را طی می‌کند و اگر شیب این خط بیشتر باشد سرعت زیادتر است، ولی بیشترین سرعتی که می‌تواند جسم داشته باشد سرعت نور است،

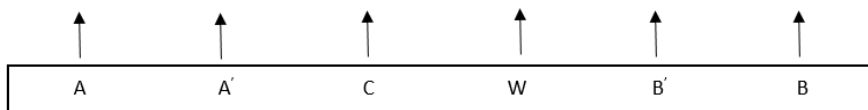
اگر نقطه تلاقی سه محور فضا - زمان را نقطه مبدا بگیریم و خطوط مورب با شیب 45° درجه را نمودار سرعت نور در نظر بگیریم با تکمیل این خطوط در کل نمودار شکلی به شکل مخروط به وجود می‌آید، که به آن مخروط فضا - زمان می‌گویند قسمت بالایی مخروط آینده و زیر مخروط گذشته را نشان می‌دهد، البته آینده و گذشته‌ای که در منطق مطلق بودن

فیزیک سیاهچاله‌ها * ۵۱

سرعت نور بگنجد، مثلاً فرض کنید که نوری از کهکشان آندرومدا به سوی ما می‌آید ۲ میلیون سال نوری در راه است که به ما برسد، یعنی آنچه ما از آندرومدا می‌بینیم در واقع ۲ میلیون سال پیش این کهکشان است، پس در مخروط پایین یعنی گذشته قرار می‌گیرد اما آنچه امروز هست از کهکشان آندرومدا، یا ۱۰۰۰ سال پیش بوده در محدوده جهان خط قرار نمی‌گیرد چون چیزی است که ۲ میلیون سال دیگر نورش به ما خواهد رسید امکان ندارد که تأثیرش الان برای ما باشد چون ارتباطات علت و معلولی این تأثیر باید سریعتر از نور حرکت کند.

مسئله همزمانی:

حال برای بررسی مسئله همزمانی مثالی را می‌زنیم، فرض می‌کنیم که قطاری داریم که به طول چند سال نوری



که در این قطار فردی به نام W کشته شده است، بازپرسی برای جستجوی قتل وارد معرکه می‌شود.

از C می‌پرسد: چه دیدی می‌گویدی؟ من دیدم هم زمان A و B با هم شلیک کردند.

از A' می‌پرسند تو چه دیدی؟ او می‌گوید: من دیدم که اول A شلیک کرد بعد B.

از B' می‌پرسند: تو چه دیدی؟ می‌گوید: من دیدم که اول B شلیک کرد و بعد A.

سه ناظر همه راستگو به سه بیان متفاوت، در اینجا بازپرس چه کند؟
به فکرش این می‌رسد که از افراد باید علاوه بر این که می‌پرسد: چه
کسی چه زمان شلیک کرد؟ باید بپرسد که تو در کجا ایستاده بودی؟

چون سرعت نور محدود است کسی مثل C که دو رویداد را
همزمان دیده، همان رویداد برای A به گونه‌ای است که گوئی اول A
شلیک کرده بعد B چون به A نزدیکتر بوده و B چون به B نزدیکتر بوده
لاجرم رویداد B را زودتر می‌بیند.

پس همزمانی امری وابسته به جایگاه ناظر است. پس علاوه بر اینکه
پرسیده می‌شود در چه زمانی شلیک شد؟ باید بپرسد در کجا ایستاده بوده
است؟

و اما درباره فضا - زمان چگونه بگوئیم؟

فرض کنید فاصله بین تهران - مشهد ۱۰۰۰ کیلومتر است در حالت
معمولی شما و برادران به مشهد با دو وسیله جداگانه‌ای مسافرت می‌کنید،
اگر شما برای رسیدن به مشهد ۱۲ ساعت وقت صرف کنید ولی برادران ۲
ساعته به مشهد برسند چه چیز می‌گویید؟
طبیعتاً و منطقاً حکم می‌کنید سرعت برادران از سرعت شما بیشتر بوده
لاجرم او زودتر رسیده است.

حال فرض ما این است که فاصله بین تهران - مشهد را بخواهیم با
وسیله دیگری که از جنس نور است طی کنیم، قیدی به مساله وارد می
شود، که سرعت این وسیله همواره مقداری ثابت است و از مقدار m/s
 3×10^8 کم یا زیاد نمی‌شود، حال از شما همان سوال قبلی را بپرسند، شما
برای رسیدن به مشهد ۱۲ ساعت و برادران ۲ ساعت وقت صرف کرده نظر
شما چیست؟

اگر بخواهید همان جواب قبلی یعنی تند بودن یا کند بودن سرعت را عنوان کنید، خلاف فرض است، پس ناچارید متمسک به این می‌شوید و می‌گویید، تغییراتی در Δx یادر Δt شما وجود داشته یعنی بگویید ساعت‌هایی که استفاده شده برای دو نفر ریتم گذرشان با هم فرق می‌کند و یا فاصله تهران مشهد کم و زیاد شده است، و یا هر دو دستخوش تغییر شده است، یعنی اولین ضربه به پیکره مطلقیت فضا – زمان وارد می‌شود. این تعبیر با تبدیلات گالیلئ متفاوت است بدین لحاظ از تبدیلات دیگری به نام تبدیلات لورنس استفاده می‌شود که ریتم گذر زمان و متریک فضا وابسته به مفهومی به نام سرعت می‌شود.

که با تغییر سرعت هر شخصی متفاوت اندازه گیری می‌شود مثلاً ریتم گذر زمان برای شخصی که با سرعت حرکت می‌کند نسبت به کسی که کندتر حرکت می‌کند کندتر می‌گذرد و یا در راستای حرکت اندازه متر کسی که با سرعت حرکت می‌کند نسبت به فردی که کندتر حرکت می‌کند کوتاهتر است و حتی این مفاهیم در جرم هم تاثیر گذار است یعنی جرم کسانی که با سرعت حرکت می‌کنند نسبت به کسانی که کندتر حرکت می‌کنند بیشتر است،

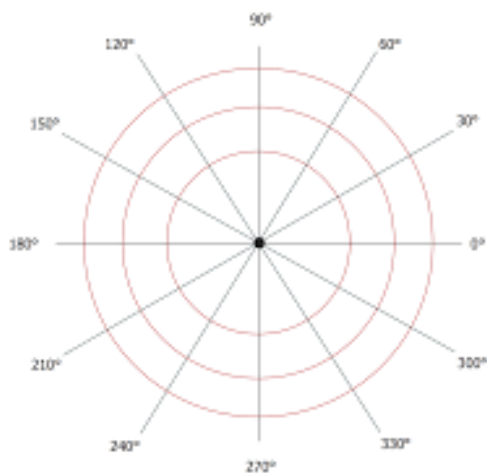
$$\Delta m = \frac{\Delta m'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \Delta x = \Delta x' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

که در فرمول‌ها ی فوق به ترتیب Δm , $\Delta t'$, $\Delta x'$ مقدار جرم، ریتم گذر زمان، متریک اندازه شی در حالت سکون است و Δm , Δx , Δt همان مقادیر در حالتی است که سیستم با سرعت V در حال حرکت است

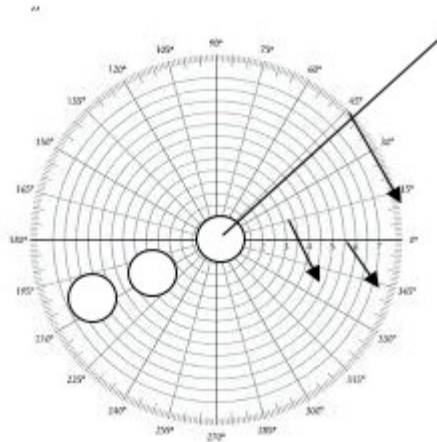
و اما نسبیت عام

انیشیتین می‌دانست که نسبیتی که ارائه داد فقط در سیستم‌ها ی غیر شتابدار قابل بررسی است برای سیستم‌ها ی شتابدار فاقد ارزش است، و می‌دانیم که وقتی جسمی تحت تاثیر جاذبه قرار گیرد دارای حرکت شتابدار می‌شود پس نسبیت خاص برای آن صادق نیست بدین لحاظ در صدد بود که نظریه‌ای ارائه دهد که تعمیمی از نسبیت خاص باشد که برای سیستم‌ها ی شتابدار هم صادق باشد که به آن نسبیت عام گفت، نسبیت عام به ظاهر تعمیم نسبیت خاص بود ولی در واقع نتایج بسیار مهمی در برداشت، برای توضیح نتایج نسبیت عام مثالی ساده می‌زنیم فرض کنید که شخصی در وسط زمینی به شکل دایره چرخان ایستاده است، این زمین حول محور وسط آن می‌گردد.

فیزیک سیاهچاله‌ها * ۵۵



فرض کنید مساحت این زمین در حد سال نوری است و می‌خواهیم این
زمین را با موزاییک‌هایی فرش
کنیم، پس زمین شکل دایره‌ای گستره‌ای دارد و از دوایری تودرتو
تشکیل شده است



حال فرض کنید که این دایره با سرعتی نزدیک به سرعت نور شروع به گردش کند.

لاجرم دواير بيروني تر با سرعت بيشتري نسبت به دايره‌ها ي داخلي تر مي‌گردد، پس اگر بر روي هر دايره‌اي ساعتی در نظر بگيريم ساعت‌ها ي دايره‌ها ي خارجي کندتر کار خواهد کرد نسبت به ساعت‌هاي دايره‌ها ي داخلي، و ريتم گذر زمان آنها بستگي به سرعت خطی هر کدام از دواير دارد، پس ريتم گذر زمان در دواير مختلف متفاوت است حال اگر فرض بر اين باشد که اين زمين با موزائيک‌ها ي مذکور مفروش شده باشد پس آن ضلع موزاييک‌ها که بيروني تر است در راستاي حرکت کوتاهتر به نظر مي رسد پس موزاييک‌ها جای شکل مربعی خود را در حال حرکت‌ها ي نزديک به سرعت نور به شکل ذوزنقه مي‌دهند. چرا که متريک فضا در سرعت‌هاي متفاوت مي‌باشد، در اين مثال ما از یک دايره چرخان صحبت کرديم، به عبارتي اين تعريف مي‌توان گفت:

تعریف اول: در دایره چرخان در دایره‌ها ی متوازی، هر دایره که سرعت خطی بیشتری دارد ریتم گذر زمان در آن کندتر و فضا انقباض بیشتری است.

حال این را کلی تر می‌گوئیم به جای سرعت از لفظ انرژی جنبشی استفاده می‌کنیم

تعریف دوم: هر جا انرژی جنبشی بیشتر باشد انحنای فضا – زمان بیشتر است.

با این تعبیر این تفاوت ریتم در زمان انحنای زمان و تفاوت متریک در فضا انحنای فضا گفته می‌شود.

تعریف سوم: حال مسئله را کلی تر می‌گیریم از لفظ مطلق انرژی استفاده می‌کنیم، هر جا انرژی بیشتر باشد، انحنای فضا – زمان بیشتر است.

می‌دانیم از نتایج نسبیت خاص هم ارزی انرژی و جرم است یعنی می‌توان جای جرم و انرژی را با هم عوض کرد نسبت به هم تقارن دارند

تعریف چهارم: پس لاجرم می‌توان گفت هر جا جرم بیشتر است انحنای فضا و زمان بیشتر است.

این اصلی شد برای پرداختن به مقوله کیهان شناسی و فیزیک ستارگان پس همان گونه که عنوان شد هر جا جرم بیشتر باشد انحنای فضا – زمان بیشتر است هر قدر جرم بیشتر انحنای بیشتر و وقتی جرم و چگالی جرم بیشتر می‌شود، به همان مرتبه هم ریتم گذر زمان کندتر و فضا انقباض بیشتری پیدا می‌کند.

پس از لحاظ نسبیتی در نزدیکی یک سیاهچاله ما با فیزیک متفاوتی مواجه هستیم فیزیکی با فضا و زمان متفاوت حال سوال اینجاست، چرا

تفاوت ریتم گذر زمان و تفاوت متریک‌ها نسبت به فاصله به جرم را انحنای می‌نامند؟

برای اینکه برای توجیه دلیل حرکت منحنی نور در کنار ستارگان و اجرام ثقیل مورد استفاده قرار می‌گیرد در واقع فضا — زمان بستر حرکت نور است، و هر گونه که انحنای پیدا کنند نور هم به همان گونه حرکت می‌کند به مثابه شلنگ برای آب که هر طور که شلنگ پیچ بخورد، آب هم بالتبع همان پیچ را طی می‌کند بر اساس اصل تبدیلی کیهان که همواره نور در جایگاه کمترین حالت فضا — زمان قرار می‌گیرد در اطراف اجرام ثقیل حالت انحنائی را طی می‌کند، و این انحنای در نزدیکی اجرام بر خلاف نظر میشل و لاپلاس نه به خاطر تاثیر گرانش بر روی فوتونهاست بلکه به دلیل خود انحنای فضا — زمان می‌باشد.

حد چاندرسکار

راهی برای پی بردن به وجود سیاهچاله‌های معمولی حد چاندرسکار:

برای پرداختن به حد چاندرسکار جالبست بدانید که داستان این حد از کارهای فردریش بسل شروع شد فردریش، از جمله دانشمندانی است که در سال ۱۲۲۳ بعد از آنکه دوره‌ای به حسابداری پرداخته بود وارد نجوم شد، و علاقمند به اندازه‌گیری فاصله ستارگان تا زمین بود برای این قضیه روش‌ها و راه‌هایی را پیشنهاد داد از جمله آن راه حل‌ها روش پارالاکس یا اختلاف منظر بود.

روش پارالاکس روشی ساده در اندازه‌گیری فاصله اجسام است، اگر چنانچه انگشت خود را مقابل چشم نگه دارید و به تناوب فقط با یک چشم به آن نگاه کنید یعنی اگر یک چشم باز است چشم دیگر بسته باشد خواهید دید که انگشتتان نسبت به یک جسم دورتر — مثلاً دیوار — جابجا می‌شود. بسیل بر آن شد تا عملاً ببیند که آیا به خاطر حرکت زمین بعضی از ستاره‌های نزدیکتر نیز نسبت به ستارگان زمینه آسمان جابجا می‌شود یا نه. این روش برای بعضی از ستارگان نزدیک چون ستاره « ۶۱ دجابه » جواب داد و فاصله آن در حدود ۱۱ سال نوری اندازه‌گیری شد. و این اولین بار بود که فاصله ستاره‌ای اندازه‌گیری می‌شد.

پسِل ستاره‌ای دیگر را مورد هدف قرار داد و آن ستاره شعرای یمانی بود، او با همین روش به مطالعه ستاره شعرای یمانی پرداخت و همچنین به حرکت آن در آسمان توجه کرد، توقع این بود که این ستاره در مسیر منحنی ساده در آسمان حرکتی را داشته باشد ولی مطالعات و رصدهای حرکتی S مانند را نشان می‌داد، و این بسیار عجیب بود، فردریش عنوان کرد که احتمالاً این ستاره، ستاره‌ای دوتائی است که تحت تاثیر یک ستاره کوتوله‌ای قرار گرفته و نیروهایی بر آن وارد می‌شود بنا به محاسبات بسل می‌بایست تندازه این ستاره نصف اندازه خود ستاره باشد ولی با جرم خود ستاره شعرای یمانی که این مساله بسیار شگفت انگیز بود.

به هر حال این ستاره در رصدهایی که بعدها آلوان کلارک حدود ۲۰ سال بعد از ادعای پسِل کشف شد، و ستاره‌ای کوچک و تحت شعاع شعرای یمانی پیدا شد، اما چگونه ممکن است که یک ستاره با این قطر این همه جرم داشته باشد؟

ارتوزادینگتون در سال (۱۳۰۴ ش / ۱۹۲۵ م) با روش طیف سنجی نسبیتی این مسئله را نیز اثبات کرد که این ستاره که به B شعرای یمانی معروف شده بود در اثر دوپلر نسبیتی، مقداری طول موجش به سوی قرمز گرایش پیدا می‌کند که رصدها با محاسبات همخوانی داشتند.

اما از سوئی نظریه ساختار و تحول ستارگان حاکی از آن بود که ستاره در حالت عادی در تعادل هیدروستاتیکی است بدین حالت که فشار گرانشی که از سوی لایه‌های بیرونی تر به سمت داخل وارد می‌شود توسط فشار حرارتی گازهای داخلی خنثی و ستاره به حالت تعادل در می‌آید.

اما فشار گرانشی مشهود در B شعرای یمانی با این تعادل سازگار نبود چرا که هیچ فشار حرارتی نمی‌توانست در برابر این فشار گرانشی مقاومت کند و تعادل در این ستارگان باید از خاصیتی دیگر باشد.

در سال ۱۳۰۵ ش / ۱۹۲۶ م رالف فاؤلر از دانشگاه کمبریج مطرح کرد که این حالت تعادل را نباید از لحاظ فیزیک کلاسیک بررسی کرد بلکه باید با دید فیزیک کوانتمی به آن نگاه کرد، در روش فاؤلر بدین نکته توجه شده از آنجا که در حالت عادی بیشتر فضای موجود در اتمها خالی است و الکترونها با فاصله‌های زیادی از هسته در حال گردش هستند و حدود ۹۹٪ از فضای داخل اتم خالی است، از طرفی در اثر حرارت و فشار اکثر گازها یونیزه شده ولی با این حال الکترونها میان هسته عناصر در حال حرکت هستند و هر چه گاز داغتر باشد سرعت حرکت ذرات بیشتر می‌باشد، اما در کوتوله سفید گرانش بر این فشار غالب می‌شود و ستاره را در حجم بسیار کوچکی متراکم می‌کند، حجمی آنقدر کوچک که گوئی الکترونها همدیگر را لمس می‌کنند با این وجود هسته‌ها کماکان جدا و الکترونها به راحتی از میان آنها عبور می‌کنند.

در سال ۱۳۰۶ ش / ۱۹۲۷ م فیزیکدانی به نام ولفگانگ پائولی نظریه‌ای را ارائه داد که خاطر نشان کرد که در یک سیستم هر الکترون فقط می‌تواند یک تراز انرژی را پر کند و امکان ندارد دو الکترون در یک تراز انرژی قرار بگیرند اگر چنانچه ترازهای پائین تر انرژی توسط الکترونها اشغال شده باشد الکترونهای دیگر سایر ترازها را می‌بایست پر کنند، در یک گاز چگالیده این مسئله خود را به طور جدی نشان می‌دهد، پس در اثر تراکم الکترونها ترازهای انرژی را پر کرده‌اند و سایر ترازها را شروع به پر کردن می‌کنند، پس علیرغم اینکه در یک گاز معمولی فشار هم به چگالی و هم به دما بستگی دارد، اما فشار گاز در یک ستاره‌ای مثل کوتوله سفید فقط با چگالی افزایش می‌یابد، زیرا الکترونها در این گاز که به گاز تبهگن موسوم است نمی‌توانند به ترازهای انرژی پایین تر بازگردند در واقع فشار گاز کاملاً مستقل از دما می‌شود. همین ویژگی اساسی این نوع گاز ابر چگال باعث

شده است که آن را تبهگن بگویند. پس در ستارگان معمولی اتم‌ها توسط فشار حرارتی $P \sim nkT$ نگهداری می‌شوند در این رابطه n چگالی عددی اتم‌ها ست، عبارت زیر E ، در حالت تعادل مینیمم است

$$E = E_{\text{grav}} + E_{\text{kin}}$$

برای یک ستاره انرژی به صورت زیر خواهد بود:

$$E_{\text{kin}} = nR^{\gamma} < E > E_{\text{grav}} \sim \frac{-GM^{\gamma}}{R}$$

که $< E >$ انرژی جنبشی متوسط اتم‌ها ست، حال وقتی ستاره سرد و منقبض شد، همجوشی در هسته ستاره متوقف می‌شود حال فرض کنید $T = 0$ باشد پس در این حالت فشار حرارتی صفر خواهد شد، پس لاجرم انتظار داریم که، ستاره تا حد تکینگی متراکم شود. اما فشار به خاطر وجود فشار تبهگنی صفر نمی‌شود. پس لاجرم می‌بایست در فرمولهای فوق از حالت‌های گاز در حالت تبهگنی استفاده نمود.

در حالت تبهگنی انرژی جنبشی ستاره به صورت زیر خواهد بود:

$$E_{\text{kin}} = \frac{hR^{\gamma} e^{\frac{\gamma}{R}}}{m_e} \rightarrow E_{\text{kin}} = \frac{h^{\gamma}}{m_e} \left[\frac{M}{m_p} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \frac{1}{R^{\gamma}}$$

که به جای $\frac{h^{\gamma}}{m_e} \left[\frac{M}{m_p} \right]^{\frac{1}{\gamma}}$ چون مقداری ثابت است، عدد ثابتی مثل α را قرار

می‌دهیم پس می‌توانیم بنویسیم که:

$$E = \frac{\alpha}{R^{\gamma}} - \frac{\beta}{R}$$

ملاحظه می‌شود در این حالت مقدار انرژی ثابت بوده و لاجرم ستاره انقباض یا انبساطی نخواهد داشت که این حالت، حالت ستاره کوتوله سفید است.

در ابتدا به نظر می‌رسید کوتوله سفید شدن سرنوشت نهائی همه ستاره‌ها باشد

اما آیا این سرنوشت همه ستاره‌هاست؟

در همان سالها یک دانشجوی جوان به نام سوبرمانیان چاندرسکار از اهالی هند به کار فاؤلر علاقمند شد و تصمیم گرفت بعد از فارغ التحصیلی از دانشگاه مدرس راهی کمبریج شده و زیر نظر فاؤلر تحقیقات خود را ادامه دهد، در سفر دریائی طولانی مدت چاندرسکار وی روی معادلات فاؤلر کار می‌کرد چاندرسکار معتقد بود که در دمای بسیار زیاد درون کوتوله سفید، سرعت ذرات آنقدر زیاد می‌شود که می‌باید اثرات نسبیتی در نظر گرفته می‌شد ولی فاؤلر این کار را نکرده بود اثرات نسبیت زمانی اهمیت پیدا می‌کند که سرعت ذرات کسر بزرگی از سرعت نور باشد

این موضوع در مقدار جرمی که می‌تواند متراکم شود و یک کوتوله سفید پایدار درست کند محدودیت ایجاد می‌کند چاندرسکار خاطر نشان کرد که برای معتبر بودن تقریب غیر نسبیتی باید داشته باشیم

$$\frac{\langle p_e \rangle}{m_e} = \frac{h n_e}{m_e} \quad \text{یعنی} \quad \langle p_e \rangle \ll m_e c$$

پس برای M ها ی به اندازه کافی بزرگ الکترون‌ها نسبیتی خواهند بود،

در این حالت از عبارات زیر استفاده می‌کنیم

$$M \ll \frac{1}{m p^2} \left(\frac{h c}{G} \right)^{\frac{2}{3}}$$

و برای M ها ی کوچک نسبیتی نیستند پس ما دو جرم داریم یکی ستاره‌ها یی با جرم زیاد و ستارگانی با جرم کم، ستارگان با جرم زیاد باید در محدود نسبیت وارد شوند.

$$\langle E \rangle = \langle P_e \rangle c \approx h c n_e \frac{1}{r}$$

$$E_{kin} \sim n_e R^3 \langle E \rangle \sim h c R^3 \left[\frac{M}{m_p r} \right]^{\frac{1}{3}}$$

پس در این حالت

$$\sim h c \left[\frac{M}{m_p} \right]^{\frac{1}{3}} \frac{1}{R}$$

پس می‌توانیم انرژی کل را بنویسیم:

$$E = \frac{\delta}{R} - \frac{\alpha}{R}$$

پس طبق $E = \frac{\delta}{R} - \frac{\alpha}{R}$ ، δ در این حالت اگر δ تا اندازه α باشد می‌تواند ستاره یک کوتوله سفید باشد، اما اگر به ازای M ها ی کوچکتر، R باید به اندازه‌ای افزایش یابد که الکترون‌ها غیر نسبتی شوند، در این حالت همان طور که دیدم ستاره با فشار تبهگنی الکترون نگهداری می‌شود،

$$\delta = \alpha \rightarrow M \approx \frac{1}{m_p r} \left(\frac{h c}{G} \right)^{\frac{3}{2}}$$

به ازای M ها ی کوچکتر R باید به اندازه‌ای افزایش یابد که الکترون‌ها غیر نسبتی شوند در این حالت همان طور که دیدم ستاره با فشار تبهگنی الکترون نگهداری می‌شود به ازای M ها ی بزرگتر، R باید به کاهش یافتن ادامه دهد پس فشار تبهگنی الکترون نمی‌تواند ستاره را نگه دارد بنابراین یک جرم بحرانی M_C وجود دارد که برابر است با

$$M_C \sim \frac{1}{m_p r} \left(\frac{h c}{G} \right)^{\frac{3}{2}} \Rightarrow R \sim \frac{1}{m_e m_p} \left(\frac{h}{G C} \right)^{\frac{1}{2}}$$

فیزیک سیاهچاله‌ها * ۶۵

اگر جرم ستاره بیشتر از جرم بحرانی باشد، ستاره به هنگام مرگ نمی تواند به کوتوله سفید تبدیل شود این حد را حد چاندرسکار می نامیم. محاسبه

دقیق نشان می دهد که $M_C = \frac{1}{\xi} M_\odot$ است.

ایده شاندرسکار توسط ادینگتون مورد پذیرش قرار نگرفت ولی سالها بعد سرانجام منطق حکم فرما شد و چاندرسکار جایزه نوبل ۱۳۶۲ / ۱۹۸۳ را از آن خودش ساخت پس همان طور که گفته شد در کوتوله‌ها ی سفید فشار داخلی از فعل و انفعال هسته‌ای حاصل نمی گردد بلکه از طبیعت گاز دژنره نتیجه می گردد

رابطه دقیق بین فشار (P) و چگالی (ρ) در ماده کاملاً دژنره بصورت زیر است:

$$P = K \rho^{\frac{5}{3}}$$

که در آن K عدد ثابتی می باشد.

واقعاً چه اندازه فشار جهت نگهداری یک ستاره لازم است؟ برای جواب دادن به این قسمت فرض می کنیم جرم ستاره را بر روی سطحی توزیع کرده ایم.

هر گاه آن را به دو قسمت مساوی هر کدام به جرم $\frac{1}{2} M$ تقسیم کنیم که در آن M جرم ستاره می باشد، مراکز جرم این دو بخش تقریباً به فاصله R از همدیگر قرار می گیرند. نیروی جاذبه بین این دو قسمت مطابق قانون نیوتن عبارت است از:

$$f = G \frac{(\frac{1}{2} M)(\frac{1}{2} M)}{R^2}$$

از طرف دیگر نیروی نگهدارنده بین این دو بخش برابر است با فشار P ضربدر مساحت نیم کره

$$f = \pi R^2 \times \text{فشار}$$

این نیرو برابر است با نیروی گرانشی:

$$\frac{GM^2}{\xi R^2} = P \pi R^2 \Rightarrow P = \frac{GM^2}{\xi \pi R^4}$$

رابطه فوق در تمام ستارگان صادق است.

حال اگر رابطه بین فشار و چگالی را برای ماده دژنره بکار ببریم:

$$P = K \rho^{\frac{5}{3}}$$

چگالی ρ بر حسب جرم و شعاع ستارگان خواهد شد

$$\rho = \frac{M}{\left(\frac{\xi \pi}{3}\right) R^3}$$

$$P = K \rho^{\frac{5}{3}} = \frac{K}{\left(\frac{\xi \pi}{3}\right)^{\frac{5}{3}} R^5}$$

در صورتی که فشار بایستی برابر با $\frac{GM^2}{\xi \pi R^4}$ باشد بنابراین

هر گاه معادله فوق را برابر R بر حسب M حل کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{GM^2}{\xi \pi R} = \frac{K}{\left(\frac{\xi \pi}{3}\right)^{\frac{5}{3}} R^5} = \frac{M^{\frac{5}{3}}}{R^5}$$

یعنی شعاع ستاره دژنره با عکس ریشه سوم جرم آن متناسب است، هر

قدر جرم بیشتر شود به همان نسبت شعاع آن کوچکتر می‌گردد

نتایج بدست آمده از طریق محاسبات تئوری با نتایج بدست آمده از رصدها کمی متفاوت است بطوری که ملاحظه می‌شود جرم نهایی کوتوله‌های سفید در حدود $\frac{1}{4}$ برابر جرم خورشید است در چگالی‌های زیاد معادله به حالت گاز تغییر کرده و رابطه بین شعاع و جرم دیگر صادق نیست. و به ازای $\frac{1}{4}$ برابر جرم خورشید شعاع ستاره صفر می‌گردد.

در جرم‌های بیش از $\frac{1}{4}$ برابر خورشید نیروهای گرانشی بر فشار گاز دژنره‌ای فائق می‌آید و ستاره فرو ریزش می‌کند.

در این حالت نمی‌توان کوتوله سفید پایدار باقی بماند، جرم $\frac{1}{4}$ برابر جرم خورشید را به نام حد چاندرسکار می‌نامیم و برابر جرمی است که بیش از آن الکترون‌ها دژنره برای ثابت نگهداشتن ستاره، قادر نخواهد بود.

نقش گرانش در به وجود آمدن سیاهچاله‌ها سیاهچاله‌ها چیستند؟ چگونه آنها را تشخیص دهیم، آیا تاکنون پیدا شده‌اند یا نه؟

سیاهچاله‌ها چیستند؟ چگونه آنها را تشخیص دهیم؟

گرانش، اسم آشنائی از نیروئی آشنا که ما را بر سطح زمین میخکوب کرده است، و اجازه کنده شدن از آن را نمی‌دهد، نیروی آشنائی که سیب را به زمین می‌زند، ماده را به گرد زمین نگه می‌دارد و زمین را در منظومه شمسی به گردش در می‌آورد و همه کائنات بر اساس آن استوار شده، گرانش نیروی مرموزی که وابسته به جرم است و نیرویی یک جانبه بدون رقیب، که برای مقابله با آن باید از روش‌ها و نیروهای دیگر استعانت جست، چرا که نیروهای دیگر با آنکه قدرتمندتر از گرانش هم هستند نظیر الکترومغناطیس دو جانبه نیروها را اعمال می‌کنند، اما زبان مشترک بین ذرات نیستند، خاصیت دافعه و جاذبه دارند می‌توانند یکدیگر را خنثی کنند، اما در بین ذرات باردار فقط جریان دارند نظیر الکترون و پروتون، زبان آن را ذره‌ای مثل نوترون نمی‌فهمد.

ولی گرانش زبان مشترک همه ذرات است، اما برای مقابله با آن چه کار می‌توان انجام داد؟

در ساختمان‌های سر به فلک کشیده برای آنکه سقف‌ها بر زمین سقوط نکنند ستون‌هایی تعبیه می‌شود که این ستون‌ها نیروی مخالف جاذبه وارد می‌کنند به سوی بالا، که از سقوط سقف به سطح جلوگیری کند، و در منظومه شمسی نیروی گرینز از مرکز ناشی از سرعت اولیه سیارات به حول خورشید مانع سقوط آنها بر روی خورشید می‌شود.

ولی در ستارگان چگونه است؟ در خورشید که ستاره‌ای بس پر جرم و پر ملات است چه چیز مانع از رمبش خورشید و مقابله آن در انهدام گرانشی می‌شود، همان طور که می‌دانیم در مرکز خورشید، رآکتوری بس قوی به تولید انرژی از هم جوشی هسته‌ای مشغول است و این گرما فشاری در گازهای اطراف هسته به وجود می‌آورد و این گرما و فشار ناشی از حرارت جلوی رمبش خورشید را می‌گیرد و آن را در حالت تعادل هیدروستاتیکی قرار داده است، و اگر ناگهان این نیرو هسته‌ای افول کند و ضعیف شود خورشید است که چون توده‌ای درهم پیچیده شود و رمبیده خواهد شد **اما تا چه حدی رمبیده می‌شود؟**

نیوتون حد معینی برای این رمبش سهمگین معین نکرده بود و اعلام کرده بود که هر آینه خورشید با تمام چگالی و جرمش بسان نقطه‌ای بی بعد متراکم خواهد شد و چیزی جلوی این انهدام را نخواهد گرفت، ولی فاولر با این فرضیه قانع نمی‌شد چگونه می‌شود که خورشید به نقطه‌ای تکینه تبدیل شود؟

فاولر از اساتید دانشگاه کمبریج اشاره بدان داشت که اصول مکانیک کوانتومی با این مسئله جور در نمی‌آید هر چند که نیوتون را چنین عقید باشد، فاولر عنوان داشت طبق اصل طرد پائولی که اذعان داشت که امکان

ندارد که دو الکترون در مکان و سرعت یکسانی در جهان یافت شوند و ترازهای انرژی متفاوتی دارند. پس لذا در هنگام رمبش با گاردی که با اشغال جایگاههای ترازهای مختلف انرژی می‌گیرند، و آنها را پر می‌کنند، موجبات عدم رمبش تابی نهایت را به وجود می‌آورند.

بله فشاری بر سیستم وارد می‌شود و این فشار موجب می‌شود که ترازهای خالی انرژی به ترتیب پر شود ولی وقتی ترازها پر شد و به اصطلاح تبهگنی به وجود آمد دیگر اجازه فشردگی مضاعف داده نخواهد شد و حد یقفی دارد. شگفتا! که این ایده جوابی بود که مدتها پیش بسل رئیس رصدخانه کونیگبرگ در دهه بیست شمسی عنوان کرده بود، بسل که از حسابداری سری به فیزیک و رصد زده بود و در رصدخانه‌ای مشغول به کار بود، دوست داشت که روشی جهت تعیین فاصله ستارگان تا زمین پیدا کند، روشی کارآ، برای ستارگان نزدیک به زمین ارائه داد که به روش پارالاکس یا اختلاف منظر معروف بود، که این روش بسان این بود که انگشت خود را مقابل صورت بگیرید، و با بستن یک چشم جایگاه آن را ثبت کنید و بعد با بستن چشم دیگر و نظاره با چشم دیگر جایگاه جدید آن را ملاحظه کنید و از این اختلاف منظر از روی مثلثات فاصله انگشت را تا خودتان حساب کنید، این ایده را بسل در رصد ستارگان در فصل‌های مختلف امتحان کرد و به نتیجه رسید، وی مثلاً فاصله ستاره « ۶۱ دجاجة » را ۱۱ سال نوری برآورد نمود به دنبال این موفقیت به رصد ستارگان دیگر از جمله ستاره شعرای یمانی « شباهنگ » پرداخت، در محاسبه مدار این ستاره متوجه شد که گوئی این ستاره حرکتی دایره وار به دور چیزی دارد، ولی چیزی در اطراف آن دیده نمی‌شد گفت گوئی ستاره‌ای دوتایی است که همدمی کوتوله دارد ولی پر جرم، بعد از بیست سال منجمی به نام کلارک این کوتوله را با تلسکوپ دید که به سان سیاره‌ای حول این ستاره می‌گردد ولی شگفتا که

این ستاره جرمی نصف جرم شعرای یمانی و قطری به اندازه زمین داشت، که از آن به بعد به آن β شعرا می‌گفتند.

قوانین نیوتن چنین چگالی در چنین حجمی را نمی‌توانست توصیف کند چه چیز این همه فشار گرانشی را تحمل می‌کند این فشار از قدرت هیچ گازی بر نمی‌آید، حالا فاولر با نظریه خود که از مکانیک کوانتمی برداشت کرده بود می‌توانست وجود گاز تبهگن و دلیل تعادل این ستاره را توضیح دهد اسم این ستاره را کوتوله سفید گذاشتند.

اما آیا همه ستارگان چنین سرنوشتی دارند یعنی ستاره وقتی که فعالیت‌های هسته‌ای اش رو به افول رفت شروع به تراکم کرد گازهای تبهگن مانع از رمبش بیش از حد آن می‌شود، جوانی به نام چاندرسکار از هندوستان که به کارهای فاولر بسیار علاقه داشت و دوست داشت که تحصیلات خود را زیر نظر فاولر بگذراند، با مطالعاتی که روی کارهای فاولر داشت، نکته‌ای به ذهنش رسید و آن این بود که فاولر در نظریه خود که اگر حرکت گازها صحبت می‌کند در محاسبات به این نکته توجه نکرد که در حالت‌های ویژه و حرارت‌های فوق‌العاده بالا سرعت حرکت مولکول‌های گاز به حدی بالا می‌رود که ممکن است که به حد سرعت نور نزدیک شود پس لاجرم در این خصوص می‌بایست از مبانی نسبیت خاص در فرمول‌های خود استفاده نماید، طبق نظریه نسبیت خاص بیشترین سرعتی که می‌تواند ذرات بگیرند به اندازه سرعت نور است، یعنی گازها حداکثر به اندازه نزدیک به سرعت نور می‌توانند سرعت داشته باشند و وقتی در این حالت قرار بگیرند فشاری ایجاد می‌کنند و این فشار حد‌اعلای، فشار تبهگنی است که می‌تواند یک ستاره داشته باشد، و می‌تواند تحمل کند و بیشتر از این مقدار توان تحمل فشار گرانشی را نخواهد داشت.

طبق محاسبات چاندرسکار اگر جرم یک ستاره معادل یک چهارم جرم خورشید باشد می‌تواند فشار تبهگنی را تحمل کند و کوتوله سفید شود، و اگر جرم تا سه برابر جرم خورشید بالا رود، الکترونها و پروتون‌ها با هم ترکیب می‌شوند و به نوترون تبدیل می‌شوند و ستاره فشرده تر ولی از جنس نوترون می‌شود و تبهگنی نوترونی در این حالت جریان دارد ولی اگر جرم ستاره به بیش از چهار برابر جرم خورشید رسید دیگر فشار نوترونی هم جوابگو نخواهد بود و تراکم ادامه یافته و چیزی جلودار آن نخواهد بود در این حالت می‌گویند که ستاره به یک سیاهچاله تبدیل شده است.

پس چاندرسکار حدودی را برای جرم در نظر گرفت و خخطر نشان کرد که همه ستارگان به یک سرنوشت منتهی نخواهند شد.

سیاهچاله‌ها چیستند؟ چگونه آنها را تشخیص دهیم، آیا تا کنون پیدا شده‌اند یا نه؟

البته باید خاطر نشان کرد که در ابتدا به این گونه ستارگان، ستارگان کاملاً رمیده گفته می‌شد، از لحاظ نظری جالب بود که در اثر این تراکم چه اتفاقی می‌افتد و چگونه باید فیزیک این ستارگان را توضیح داد؟

برای توضیح این ستارگان ابر چگال، بعد از ظهور تئوری نسبیت عام توسط آلبرت انیشتین، دانشمند جوانی که از شانس بد باید به بازی برای نازی‌ها ی آلمانی تن می‌داد فردی به نام شوارزشیلد راه حلی داشت، شوارزشیلد در طی مطالعه روی محاسبه سرعت فرار از اطراف ستارگان بود، سرعت فرار به حول ستارگان یعنی چه؟

سرعت فرار سرعتی قلمداد می‌شود که اگر با آن سرعت جسمی در اطراف یک سیاره یا ستاره پرتاب شود دیگر از قلمرو گرانشی آن خارج شده و به آن بر نمی‌گردد، فرض کنید ما یک توپی را داریم که در روی زمین دائماً آن را شوت می‌کنیم این توپ بالا می‌رود و دوباره به زمین باز می‌گردد، از

لحاظ فیزیکی اگر بخواهیم آن را توضیح دهیم می‌بایست از لحاظ انرژی آن را بررسی کنیم، توپ در اثر ضربه انرژی بدست می‌آورد موسوم به انرژی جنبشی، انرژی جنبشی انرژی است وابسته به دو کمیت یکی سرعت و یکی جرم اگر چنانچه جسمی دارای سرعت زیاد باشد توانائی انجام کار زیادی دارد، هر چند جرمش کم باشد و یا اینکه اگر جرمش زیاد باشد و سرعتش کم توانائی انجام کارش باز هم زیاد است پس لاجرم انرژی جنبشی

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

می‌باشد، نوع دیگری از انرژی را داریم به نام انرژی پتانسیل که ذخیره شدن انرژی را نشان می‌دهد، اگر جسمی را برداریم و روی میز بگذاریم انرژی در آن ذخیره می‌شود و هر قدر ارتفاع بیشتر باشد انرژی بیشتر ذخیره می‌شود اگر رهاش کنیم با سرعت سقوط می‌کند

این انرژی می‌تواند بین دو جسم با دو جرم m_1 و M نیز باشد، که

$$f = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad \text{طبق محاسبات نیوتون}$$

$$g = \frac{Gm_1}{r^2} \leftarrow m_2 a = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad \text{برقرار است پس لاجرم}$$

$$E_p = m_2 gr \leftarrow E_p = \frac{Gm_1m_2}{r} \quad \text{پس داریم}$$

روی سطح زمین و در ارتفاع h ، $\Delta E_p = mgh$ خواهد بود، در حالت عادی $E_k + E_p = E$ است و انرژی جنبشی وقتی زیاد شود به انرژی پتانسیل کم و بالعکس اتفاق می‌افتد تا طبق قانون بقای انرژی E کل ثابت باقی بماند، اما اگر بخواهیم حالتی را در نظر بگیریم که سرعتی اولیه به جسم بدهیم که دیگر روی زمین بازنگردد، باید انرژی جنبشی از کل انرژی

پتانسیل که از سوی زمین به آن جسم وارد می‌شود مساوی یا از آن بیشتر باشد که دیگر سرعتش را صفر نکند و به زمین بازگردانید پس

$$\frac{1}{2} m_1 v^2 = \frac{G m_1 m_2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 G m_2}{R}}$$

خواهد بود، همان طور که دیده می‌شود سرعت فرار اصلاً به جرم پرتابه ارتباطی ندارد بلکه صرفاً به جرم جسمی بستگی دارد که پرتابه دایره مدار آن پرتاب می‌شود و همچنین به فاصله پرتابه تا مرکز جرم دایره مدار، مثلاً اگر بخواهیم پرتابه‌ای را، از مدار زمین به گونه‌ای پرتاب کنیم که دیگر از کمند گرانشی خورشیدها شود می‌بایست با سرعتی برابر ۴۲ کیلومتر بر ثانیه پرتاب شود و اگر بخواهیم همین کار را از سطح عطارد انجام دهیم با سرعت ۶۴ کیلومتر بر ثانیه می‌بایست پرتاب صورت پذیرد، و اگر بخواهیم از سطح خورشید پرتابی صورت پذیرد بالغ بر ۶۷۷ کیلومتر بر ثانیه باید سرعت اولیه آن باشد، حال اگر بخواهیم باز هم سرعت فرار زیاد کنیم اگر به عمق خورشید پیش برویم، و به مرکز نزدیک شویم، هیچگاه به سرعت فرار اضافه نمی‌شود چرا که مثلاً در عمق ۱۰۰۰ کیلومتری خورشید، با آنکه شعاع کم شده ولی مقداری از جرم عملاً از صحنه خارج شده است.



پس این راه درستی برای افزایش سرعت فرار نیست بلکه می‌بایست جرم با همه جرمی که دارد متراکم شود خورشید کوچکتر و چگال تر شود، تا سرعت فرار اضافه شود، همان طور که اشاره شد مادامی که نیروی هسته‌ای تحلیل می‌رود، ستاره شروع به تراکم مضاعف می‌کند و در مواردی در شرایط تبهگنی الکترونی قرار می‌گیرد و بعد از آن در ستارگان پر جرم تر به تبهگنی نوترونی مبدل می‌شود، اما اگر جرم از حد تبهگنی هم بیشتر شد باید چه کنیم، تراکم به حدی است که یارای مقاومت در برابر آن با هیچ تبهگنی میسر نیست، و شروع به تراکم می‌کند اما در این تراکم، سرعت فرار حدی دارد که آن را نسبیت مشخص کرده است، منتهای آن برابر سرعت نور است، از آن بیشتر نمی‌شود، که این حد را شوارزشیلد تعیین می‌کند

$$C = \sqrt{\frac{2Gm_s}{R}} \leq V = \sqrt{\frac{2Gm}{R}}$$

$$R = \frac{2Gm_s}{C^2} \leftarrow C^2 = \frac{2Gm_s}{R}$$

اگر یک جسمی با شرایط به اندازه $R = \frac{2Gm_s}{c^2}$ متراکم شود، در اطراف آن شعاعی وجود می‌آید که در این شعاع سرعت فرار به حد سرعت نور می‌رسد پس این شعاع حدی است که بالاتر از آن امکان فرار فیزیکی با ازدیاد انرژی مهیاست ولی در کمتر و یا مساوی آن R امکان فرار به هیچ وجه وجود ندارد به این شعاع، شعاع شوارزشیلد می‌گویند، و این شعاع ربطی به جرم جسم هم ندارد مثلاً شعاع شوارزشیلد برای وقتی که پرتقالی به حالت تکنه برسد از مرتبه 10^{-26} متر است و برای زمین در حد ۱ cm بوده و برای

خورشید ۳ کیلومتر می‌باشد، و برای اجرامی چندین میلیون برابر خورشید به همان نسبت بزرگتر خواهد بود.

اما نکته این است که رسیدن بدین تراکم بسیار سخت است و فقط و فقط از عهده گرانش بر می‌آید و این گرانش در اجرامی با چهار برابر بزرگتر از خورشید اتفاق خواهد افتاد و به نقطه تکینه می‌رسد ستارگانی که به سوی نقطه تکینه می‌روند و شعاع شوارزشیلد در اطراف آنها به وجود می‌آید به سیاهچاله موسوم می‌شوند، اما بحث در نقطه تکینه بسیار است چرا که در این نقطه از قوانین فیزیک عدول می‌شود و در آنجا جایی است که وارد فاز کوانتومی می‌شویم و ترکیبی از نسبیت عام و کوانتم را در بر دارد، پس این نقطه تکینه به تعریف نیوتونی نیست و تعریفی دیگر دارد.

در سال ۱۹۳۹ میلادی (۱۳۱۸ ش) جوانی آمریکایی به نام « رابرت اپنهایمر » مسئله سیاهچاله را از دید نسبیت عامی مورد بررسی قرار داد ولی از آنجا که در گیر مسائل جنگ جهانی دوم بود از آن کار به سوی کار روی پروژه‌های هسته‌ای و اتمی روی آورد ولی بعد از جنگ دانشمندان علاقمند شدند که دوباره دیدگاه‌های نسبیت عامی را در مورد سیاهچاله‌ها به کار بگیرند.

برای توضیح این نظریه کافایت که نگاهی به نظریه جان میشل و لاپلاس در قرن‌ها قبل بیندازیم آنها در ایده ستاره سیاه معتقد بودند که اثرات گرانشی ستارگان بر روی فوتون‌ها تأثیر می‌گذارند و در نهایت منجر به کاهش سرعت آنها می‌شوند و از سویی اندازه ستاره‌ای که این گونه باشد ۲۵۰ برابر خورشید محاسبه نموده بودند، بعدها متوجه شدیم که برای رسیدن به یک ستاره تاریک رمبش ستاره باید جایگزین ایده ستاره‌ای غول آسا شود، ولی در مورد کاهش سرعت فوتونها، ایده بر آن بود که سرعت فوتونها تغییری در آن ایجاد نمی‌شود بلکه، این طول موج‌ها ست که

دستخوش تغییر می‌شود، و تأثیر گرانش تأثیر صرفاً نیرویی نیست بلکه تأثیری نسبیتی یعنی تحول در فضا - زمان است، برای توضیح این مسئله خوب است که تبصره‌ای به نسبیت زده و درباره نسبیت توضیحاتی را ارائه دهیم:

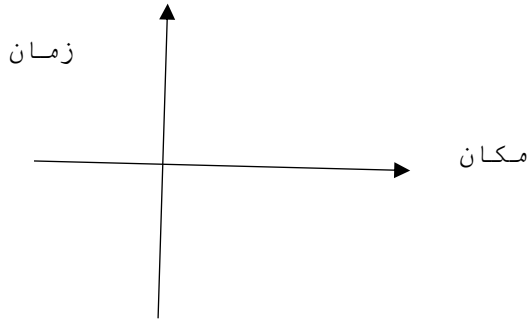
نظریه نسبیت بر مبنای کارهای دانشمند جوانی به نام آلبرت انیشتین در سال ۱۹۰۵ ارائه شد، انیشتین که بر مبنای مطلق بودن سرعت نور و اصل هم ارزی قوانین فیزیک در چهار چوب‌های مختلف لخت نظریه‌ای را ارائه داد که بر اساس آن قید مطلق بودن از فضا و زمان سلب شد و در عوض به سرعت نور اطلاق شد که خود این ایده بر اساس کارهایی بود که در قبل مایکلسون و موری در نفی متغیر بودن نور بنا بر سرعت چشمه‌های نور و کارهای لورنس بنیان گذاشته شده بود که در این نظریه تبدیلات لورنس جایگزین تبدیلات گالیله می‌شد و در سرعت‌های مختلف برای ناظر لخت ریتم‌های گذر زمان و متریک‌های متفاوت اندازه‌گیری می‌شد که به شکل زیر است

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \Delta m = \frac{\Delta m'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \Delta x = \Delta x' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

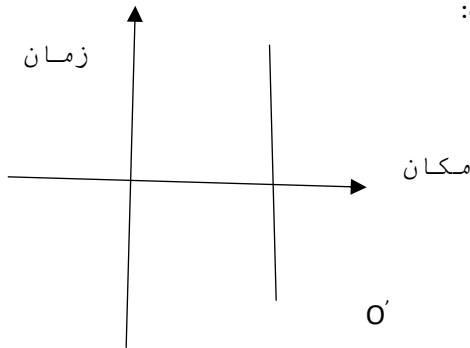
بنابراین نظریه در سرعت‌های بالا ریتم گذر زمان برای ناظر لخت، کند، و اندازه فضا انقباض پیدا می‌کند،

این نظریه بنا به اصول ممنوعه حاکم بر آن برای سیستم‌های غیر شتابدار حاکم بود انیشتین به دنبال تعمیم آن به محیط‌های شتابدار و غیر شتابدار بود پس در سال ۱۹۱۵ نظیر نسبیت عام را ارائه داد که در این نظریه به گونه‌ای جرم را به فضا و زمان مرتبط می‌کرد، و از نتایج آن بدست

می‌آمد که در مجاورت اجرام سنگین انحنای فضا — زمان بیشتر می‌شود یعنی ریتم گذر زمان طولانی‌تر و متریک‌ها انقباض بیشتری دارند و هر قدر جرم سنگین‌تر و ثقیل‌تر باشد این انحنا بیشتر خواهد بود، ریتم گذر زمان کندتر و فضا انقباض بیشتری خواهد داشت، حال بر فرض اینکه در مجاورت یک سیاهچاله‌ای با منتهای جرم و تراکم و چگالی همراه هستیم پس لاجرم انتهای انقباض فضا و اتساع زمان در مجاورت آن جریان دارد، و بعضاً می‌توان گفت که ریتم گذر زمان به حدی کند است که زمان در آنجا متوقف شده است و با این تفسیر اینکه نور در نزدیک سیاهچاله نمی‌تواند بگریزد نه به خاطر کاهش سرعت نور بلکه به علت ازدیاد طول موج یا اثر دوپلر گرانشی می‌باشد در حد موسوم به شعاع شوارزشیلد، در واقع منطقه‌ای است که طول موج به حد بی‌نهایت سیر می‌کند و در عمل طول موجی وجود ندارد که گسیل شود، پس لاجرم امواج الکترومغناطیسی توان گریز از آن ناحیه را ندارند، بحث را به نمودار جهان — زمان معطوف می‌کنیم، این نمودار، نموداری است که در نسبیت مطرح می‌شود که در آن معمولاً محور عمود نماینده زمان و محور افقی نماینده مکان قلمداد می‌شود.

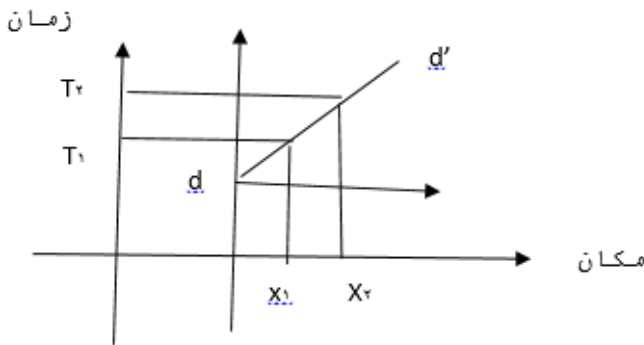


در این نمودار اگر چنانچه جسمی در اتاق بدون حرکت ثابت باشد نمودارش به گونه زیر است:



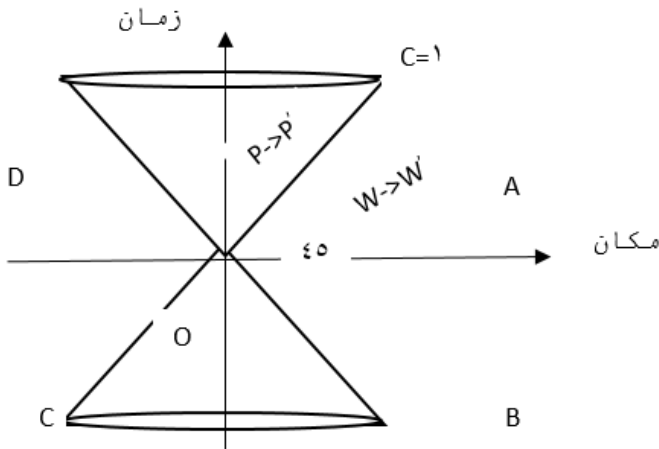
ک نقطه O' جایگاه جسم است که در طول زمان سیری دارد ولی در مکان سیری در آن نمی‌بینیم اگر آن جسم در زمانی شروع به حرکت کند علاوه بر تغییرات مکانی، تغییرات زمانی نیز قابل مشاهده است

فیزیک سیاهچاله‌ها * ۸۱



مشخص است که خط d' ، شاخص سرعت است، حال هر قدر که سرعت جسم بیشتر باشد شیب این خط d' نسبت به محور مکانی کمتر و نسبت به محور زمانی بیشتر می‌شود، آنچه مسلم است طبق نسبیت خاص ما برای سرعت حدی داریم، که برابر سرعت نور می‌باشد، در این حد بیشترین شیب نسبت به محور مکانی و کمترین نسبت به محور زمانی می‌باشد، اگر فرض $C = ۱$ بگیریم

این نمودار دارای شیب ۴۵ خواهد بود:



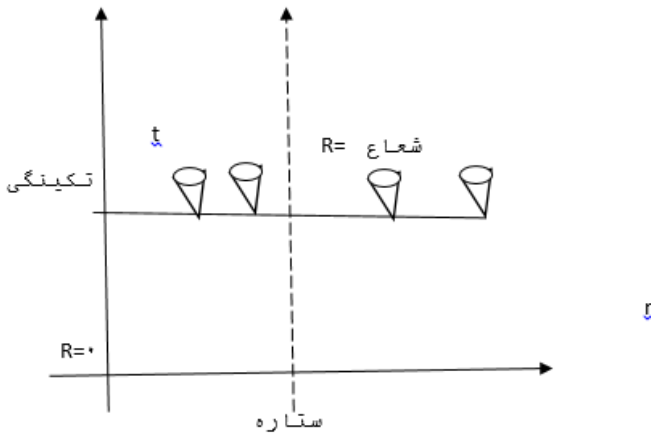
اگر این نمودار را به گونه‌ای فرض کنیم که جسم مورد نظر در لحظه $t=0$ فرض شود و $x=0$ ، پس لاجرم منطقه A, B مناطقی هستند که در آن زمان به سوی آینده پیش می‌رود و جهت هم مهم نیست ولی مناطق D, C مناطقی هستند که در آنها زمان مربوط به گذشته است، برای بررسی علیت در این نواحی تحقیقی می‌کنیم:

در منطقه‌های A, B ، اگر چنانچه داخل مخروط نوری باشیم، سرعت ما، از سرعت نور کمتر است، پس مطابق جهان مادی عمل می‌شود، اما مناطق خارج از مخروط نوری، سرعت باید از سرعت نور بیشتر باشد، و این امکان ندارد پس کل جهان در درون این مخروط‌ها وجود دارد که مخروط پائینی گذشته و مخروط بالائی آینده را نشان می‌دهد، و کل فرآیندهای فیزیکی یک فوتون یا یک ذره غیر نوری در این مخروط قابل پیگیری کردن

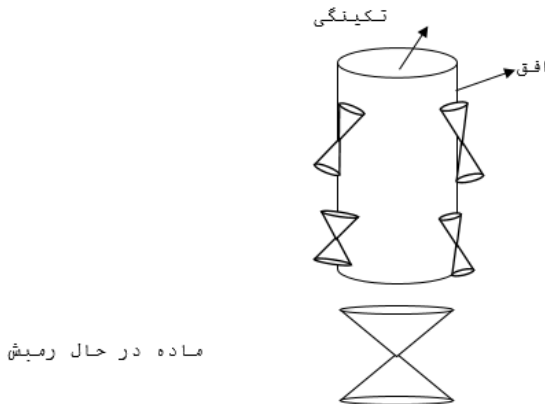
می‌باشد، حال اگر ما به یک ذره دو مخروط نوری نسبت دهیم و این ذره متحرک در مسیر فضا - زمان باشد، و حال فرض کنیم بر اساس اصول ژئودری نسبت عام انحنائی در فضا - زمان تحت تأثیر جرم ثقیلی چون سیاهچاله به وجود آمده باشد پس لاجرم این ذره روی همان خطوط منحنی حرکت خواهد کرد، همان طور که می‌دانیم اثرات گرانشی نزدیک افق رویداد سیاهچاله‌ها بسیار قوی هستند.

بنابراین حتی برای ساده ترین مورد سیاهچاله‌ای غیر چرخان زمان در نزدیکی سیاهچاله نسبت به مکانی در فاصله زیاد از آن متفاوت می‌گذرد، این اثری واقعی است و بستگی به نوع سنجش زمان با ابزار ندارد، این اثرات مستقیماً نتیجه انحنای فضا - زمان است، که تحت تأثیر حضور جرم و نزدیک شدن نوک مخروط‌ها ی نوری به سوی جرم ایجاد می‌شود. سیاهچاله به شدت بر جهت گیری مخروط‌ها ی نوری تأثیر می‌گذارد، وقتی ذره‌ای به سیاهچاله‌ای نزدیک می‌شود، مخروط نوری آینده اش بیشتر و بیشتر به سوی سیاهچاله متمایل می‌شود، طوری که سیاهچاله بیشتر و بیشتر به بخشی از آینده گریز ناپذیر آن ذره تبدیل می‌شود. وقتی ذره از افق رویداد بگذرد همهٔ مسیرهای ممکنش در آینده به درون سیاهچاله ختم می‌شوند.

درون افق رویداد تمایل مخروط نوری چنان زیاد است که یک ضلعش با افق رویداد موازی می‌شود و آینده بالکل درون افق رویداد قرار می‌گیرد، به این ترتیب فرار از سیاهچاله ممکن نیست

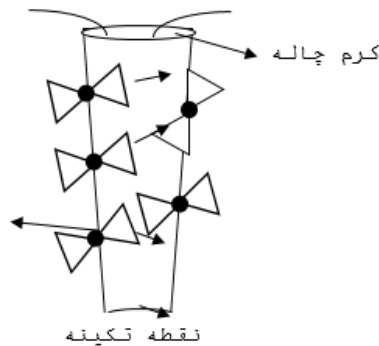


وقتی مخروط‌های نوری از r ‌ها ی بزرگتر از شعاع شوارزشیلد به r ‌ها ی نزدیک بدین شعاع می‌آیند، کج می‌شوند به طوری که جهان خط‌های تهی یا زمان گونه معطوف به آینده نمی‌توانند از r ‌ها ی کوچک تر یا مساوی شعاع شوارزشیلد به r ‌ها ی بزرگتر از آن برسند.



در نقطه تکینه آن چنان فضا و زمان در هم پیچیده می‌شوند که گوئی ساختارها کلاً دگرگون می‌شود، و از آنجا که هیچ پالسی از آن منطقه مشاهده نمی‌شود و این منطقه بوسیله شعاع شوارزشیلد گوئی کلاً سانسور شده است و این را به طور کلی سانسور کیهانی می‌گویند، و کسانی که در خارج از افق رویداد قرار دارند هیچ اطلاعاتی از آن منطقه ندارند ولی علی رغم عدم وجود این اطلاعات اگر چنانچه ستاره‌ای همدم سیاهچاله در فاصله‌ای باشد با رمبش سیاهچاله و به نقطه تکینه رسیدنش در روند، گردش و حرکات ستاره همدم اختلالی مشاهده نمی‌شود، گویی در اثر رمبش سیاهچاله‌ای فقط اتفاقی که می‌افتد این است که سیاهچاله چهره خود را از جهانیان پنهان می‌کند در صورتی که تأثیرات گرانشی آن همچنان پا برجاست و قوانین گرانش است که بر آن حکم می‌راند تو گوئی در پشت آن دیواره شوارزشیلد هر اتفاقی که بیافتد، در حدود و محدوده خودش است و در خارج از دیواره گوئی اتفاقی نیافتاده است و علی رغم پیچش‌ها ی شدید فضا و زمانی در آن منطقه در خارج از منطقه اتفاقی خاص ملاحظه نمی‌شود.

سوالی که در اینجا مطرح است این است که در محدوده پشت دیوار چه خبر است؟ و در جایی که ما نمی‌بینیم فضا - زمان به چه گونه‌ای خواهند بود؟ همان طور که تصور می‌شود فضا و زمان در این ناحیه به شدت انحناء دارند و به شکل یک تونلی در خواهند آمد، که به نقطه تکینه منتهی می‌شود، یعنی ریتم گذر زمان به شدت کند و فضا به شدت منحنی است، این **تونل فضا زمانی، در اصطلاح کرم چاله تعریف می‌شود**، اگر بخواهیم نمودارهای جهان خط را در اطراف یک کرم چاله بکشیم به گونه زیر است:

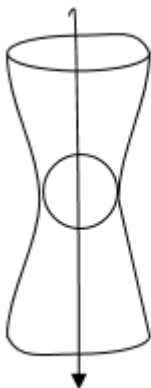


همان طور که ملاحظه می‌شود گویی در نزدیک شدن به محور زمانی جهتش کاملاً عوض می‌شود و همین ایده، این تصور را به وجود آورد که گوئی راهی است برای عبور به زمانهای گذشته که البته در مورد سیاهچاله‌ها ی شوارزشیلد که در آنها مسئله بسیار ساده فرض شده که نه دارای اسپین است نه دارای بار الکتریکی ممکن است درست باشد ولی در مورد سیاهچاله‌هایی که عوارض دیگری در آنها وجود دارد، متفاوت خواهد بود ستاره‌ای که می‌رمبد، اگر چرخان بوده باشد سیاهچاله حاصل از آن هم

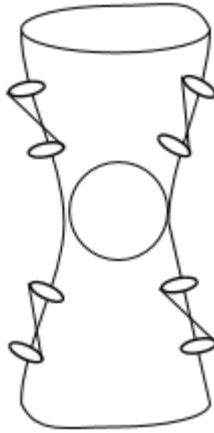
چرخان خواهد بود در سال ۱۹۶۳ رویکرد ریاضی دان نیوزیلندی معادلات مربوط به سیاهچاله‌ها ی چرخان را حل کرد، علاوه بر جرم و اسپین، بار الکتریکی نیز تنها خاصیت دیگری است که با تبدیل ستاره به سیاهچاله از بین نمی‌رود.

در سال ۱۹۱۰ رایزنی اهل آلمان و نوردشتروم اهل دانمارک معادلات مربوط به سیاهچاله‌ها ی باردار را حل کردند که به سیاهچاله‌ها ی نوردشتروم معروف شد، نوع دیگر برای سیاهچاله‌ها آن است که هم بار دارد و هم اسپین، معادلات مربوط به این نوع را کرونویمن حل کردند و این سیاهچاله‌ها به همین مناسبت سیاهچاله‌ها ی کرونویمن نامگذاری شده است.

به هر حال آنچه محاسبه می‌شود این است که اگر بنا باشد از یک کرم چاله به عنوان تونلی برای عبور استفاده شود در سیاهچاله‌ها ی شوارزشیلد می‌بایست سرعت عبور برابر سرعت نور باشد اما برای سیاهچاله‌ها ی چرخان لازم به اینقدر سرعت نیست



کرم چاله را راهی برای رفتن به گذشته استفاده کرد بدین گونه که تفسیر کرد:



دل خوش کردن به این کرم چاله‌ها به نظر که کار درستی نبود چرا که دروازه آغاز این سفر متصل به سیاهچاله می‌باشد در اواسط دهه (۱۹۸۰ / ۱۳۴۹) عنوان شد که اگر کرمچاله‌ای جدا از سیاهچاله وجود داشته باشد، می‌شود آن را به عنوان راه پیمودنی امتحان کرد.

فیزیک کرمچاله‌ها

فیزیک کرمچاله‌ها:

کرم چاله‌ها پدیده‌های خاص فضا - زمانی، که در این پدیده تحت تأثیر اجرم سنگینی چون سیاهچاله‌ها فضا - زمان آنچنان درهم می‌پیچید که به مثابه قیفی در می‌آید که دهانه باز آن آستانه ورود و جهت کوچکتر آن چون تونلی به سیاهچاله منتهی می‌شود.

از ویژگی‌های این تونل فضا زمانی این است که در سوی دهانه بزرگتر انحنای فضا زمان کمتر است، یعنی ریتم گذر زمان تندتر و انقباض فضا کمتر است و هر قدر به سوی دهانه تنگ تر می‌رویم انحنای فضا زمان بیشتر می‌شود و زمان کندتر و فضا فشردگی بیشتری را دارد.

در یک کرم چاله یک طرفه که انتهای تنگ تر به یک سیاهچاله منتهی می‌شود، اگر فرضاً از سوی دهانه باز به داخل و فضا - زمان آن نگاهی بکنیم فرضاً از دید زمانی، زمان همین طور کندتر و کندتر می‌شود یعنی اگر سفینه‌ای به سوی داخل کرم چاله بیافتد که در حالت عادی هر ثانیه یک پالس ساطع می‌کند وقتی نفوذ بیشتری به داخل می‌کند، زمان دریافت پالس دائماً طولانی تر و طولانی تر اندازه گیری می‌شود تا سرانجام به منطقه‌ای داخل می‌شود که اصلاً مطلقاً پالسی ساطع نمی‌شود، و به اصطلاح در آن منطقه زمان نمی‌گذرد، یا ریتم گذر زمان به بی نهایت سوق

پیدا می‌کند، یعنی از دید ناظر بیرونی در آنجا حرکتی اتفاق نمی‌افتد، تحولی دیده نمی‌شود، الان نسبت به ناظر بیرونی قرن‌ها گذشته است ولی در آن منطقه نه، گویی زمان در قرن‌ها منجمد شده است، در فرض برای ناظر بیرونی نسلها عوض شده اما ناظر داخلی زمان آبا و اجداد را نشان می‌دهد حالا از نظر ناظر داخلی که در آن منطقه توقف قرار دارد وقتی بیرون را ملاحظه می‌کند گویی به آینده نگاه می‌کند، ملاحظه می‌کند که گویی فیلم را روی دور تند قرار داده‌اند و قرن‌ها و روزها به سرعت می‌آیند و سپری می‌شوند گویی ناظر بر آینده جهان است و آینده را می‌تواند ملاحظه کند

پس این تونل (کرم چاله) اگر از پایین به بالا نگاه شود تونل گذر به آینده و اگر از بالا به پایین نگاه شود، نگاه به گذشته است

البته با وجود حضور سیاهچاله در این بین بیشتر تونلی یک طرفه به نظر می‌رسد که به سوی گذشته باشد و وجود سیاهچاله، سیاحتگر زمان را با چالش جدی روبرو می‌کند.

بدین لحاظ به دنبال راه حلی هستند، اما نکته‌ای هست نیروهای کشندی در مجاورت سیاهچاله‌ای پر جرمتر آنقدر مساله آفرین نیست هر چه جرم سیاهچاله بیشتر باشد نیروی کشندی در افق رویداد آن ضعیفتر می‌شوند، علتش این است که شعاع افق رویداد با افزایش جرم سیاهچاله زیاد می‌شود. و نیروهای کشندی با افزایش فاصله از تکینگی مرکزی به سرعت ضعیف می‌شود. نیروهای کشندی در افق رویداد سیاهچاله‌ای که ۱۰۰۰۰ برابر خورشید جرم داشته باشد قابل تحمل هستند و انسان می‌تواند از این افق بدون دردسر عبور کند

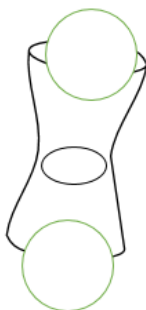
$$R = \frac{2GM_s}{c^2}$$

شوارزشیلد شعاع

فیزیک سیاهچاله‌ها * ۹۱

همان طور که ملاحظه می‌شود هر قدر که جرم ستاره بزرگتر می‌شود به همان مرتبه شعاع شوارزشیلد هم بزرگتر می‌شود، پس بنابراین نیروی کشندی $f = \frac{GM_S m_1}{R^2}$ کاهش می‌یابد، پس در ستارگانی با جرم بیش از ۱۰۰۰۰ برابر خورشید این نیرو قابل تحمل می‌باشد. اما از آنجا که هر کرم چاله یک مسیر یک طرفه است مسافران برای اینکه به بازگشت به زمین امیدوار باشند باید بتوانند به کرم چاله‌ها ی دیگر هم دسترسی پیدا کنند، یعنی لازم خواهد بود که به مراکز کهکشانه‌های دیگری هم سفر کنند، اگر چه برای طی مسافتهای بسیار زیاد در فضا و زمان به این کرمچاله‌ها احتیاج داریم، خود کرمچاله‌ها متصل به سیاهچاله‌ها ی پر جرم میلیون‌ها سال نوری از هم فاصله دارند

قابل تأمل است که چون فضا دارای سه بعد به علاوه پارامتر زمان در نظر گرفته می‌شود، در حقیقت آن دایره‌ای را که در دو سر قیف کرم چاله در نظر می‌گیریم فضای کروی و شبه کروی است .



کارل ساگان نویسنده و مروج علم آمریکائی در جریان نگاشتن داستانی علمی – تخیلی برای گذر زمان از کرم چاله‌ها استفاده کرده بود و در این داستان تا اندازه زیادی سعی بر آن شده بود که از واقعیت‌های فیزیکی استفاده شود، داستان را به دانشمند جوانی به نام کیپ تورن داد، کیپ به این فکر افتاد که برای دستیابی به ماشین زمان معادلات انیشتین را نگاهی دوباره ببیند، فکر بر این بود که مستقل از سیاهچاله‌ها می‌شود در جایی از فضا زمان کرم چاله‌ای ایجاد شود؟

اولاً: نیروی کشندی ضعیفی داشته باشد.

ثانیاً: گذرگاهی دو طرفه را فراهم آورد و این یعنی افق رویدادی نداشته باشد.

ثالثاً: مدت گذر از آن زمانی معقول باشد.

کیپ تورن به این فکر افتاد که اگر ما در اطراف سیاهچاله‌ها به علت گرانش عظیم سیاهچاله‌ای یک تونل فضا – زمانی به نام کرم چاله داریم، می‌توان از خاصیت نسبیت خاص برای ساختن کرم چاله بدون استفاده از سیاهچاله‌ها استفاده کرد.

نظیر آنچه در آب و هوا می‌بینیم و بدان گردباد یا گردآب می‌گوئیم، اگر چنانچه در قسمتی از فضا – زمان انرژی به حدی زیاد شود که گوئی در حال گردش نزدیک سرعت نور است، که ممکن است این حالت در نزدیکی یک سیارک بزرگ بتوان ایجاد کرد.

پس وقتی فضا – زمان به شکل یک کرم چاله در آمدند آن سوی دهانه کرم چاله، انرژی و چرخش نسبتاً کمتری دارد پس گذر زمان در نزدیک دهانه رو به سیارک کند و در دهانه دیگر کند کار میکند، پس در این حالت یک کرم چاله سرگردان داریم.

و همانطور که گفتیم این دهانه‌ها هر کدام کروی است و به مثابه یک ستاره معمولی می‌باشد، و به گونه‌ها ی مختلف برای انتقال آنها صحبت شده است، حال اگر یک کرم چاله مستقل درست شد اگر از آن سو که سرعت دورانی زیاد دارد وارد شوید به سوی آینده می‌روی و اگر از سوی ساکن وارد شوی به گذشته خواهی رفت.

اما این تونل‌ها ی فضا - زمانی تا پدیدارند برای آنکه پایداری داشته باشند، عنوان می‌شود اگر چنانچه این کرم چاله‌ها با ماده‌ای که فشار کششی زیادی دارد پوشیده شوند می‌توان این خاصیت کرم چاله‌ها را محفوظ داشت.

شاید این تکنولوژی‌ها در حال حاضر در دسترس نباشد و فقط در بودن یا نبودن آن صحبت شود ولی ممکن است در فناوری بشر هزار سال دیگر چنین فناوری‌ها یی به وجود آید، و واقعاً فضا - زمان به تسخیر بشر درآید، حال برای بررسی بیشتر کرم چاله لازم است که علاوه بر سیاهچاله شوارزشیلد انواع دیگر سیاهچاله‌ها هم معرفی شود و دوباره سری بزنیم به مساله کرم چاله‌ها.



انواع سیاهچاله‌ها

اما انواع سیاهچاله‌ها:

در فروپاشی گرانشی برای تشکیل سیاهچاله گسیل امواج گرانشی از هر حرکتی جلوگیری میکند، بنابراین انتظار می‌رود که چندان طول نکشد تا سیاهچاله به حالت ایستا برسد، این حالت ایستای نهایی به جزئیات جسمی که رمبش کرده و سیاهچاله را تشکیل داده بستگی دارد. سیاهچاله ممکن است هر شکل و اندازه‌ای داشته باشد و حتی ممکن است شکل آن ثابت نبوده بلکه تپنده باشد.

اما در سال (۱۹۶۷ / ۱۳۴۶) در مقاله‌ای «ورنر اسرائیل» عنوان کرد که سیاهچاله‌ها در واقع مانند گلوله‌ای از سیال رفتار می‌کنند هر چند ممکن است این جسم در ابتدا حالتی غیر کروی داشته باشند اما وقتی فرو می‌پاشند تا به سیاهچاله تشکیل دهند به دلیل گسیل امواج گرانشی به حالت کروی در می‌آیند، محاسبات بیشتر از این دیدگاه حمایت کردند و عموماً آن را پذیرفتند.

نتیجه اسرائیل فقط مربوط به سیاهچاله‌های غیر گردان و چرخشی بود، اما بر اساس تشبیه به گلوله‌ای سیال این انتظار تقویت شد که سیاهچاله‌های گردان می‌بایست از حالت کروی خارج شوند، همان طور که می‌دانیم اغلب ستارگان آسمان، ستارگانی هستند که دارای ممنتوم زاویه‌ای زیادی هستند. براساس قانون بقای اندازه حرکت زاویه‌ای اگر چنانچه شروع به تراکم کنند و منقبض شوند، با کاهش R به سرعت دورانی آنها افزوده می‌شود، پس لاجرم در سیاهچاله‌ها که از این گونه ستارگان ساخته شده‌اند انتظار سرعت زاویه‌ای بالایی را داریم.

تبصره: بقای اندازه حرکت زاویه‌ای:

قوانین بقا در فیزیک از جمله سنن لایتغیر الهی در طبیعت می‌باشد که از آن جمله قانون بقای اندازه حرکت خطی و قانون بقای اندازه حرکت زاویه‌ای می‌باشد:

اندازه حرکت خطی با ضرب جرم در سرعت خطی محقق می‌شود

$$P=m.v$$

و قانون بقا در یک جسم با اندازه حرکت p خاطر نشان می‌کند که، در طبیعت همواره اگر چنانچه جسم تحت تأثیر نیروی خارجی خاصی نباشد می‌بایست p همواره ثابت باشد و اگر در m و یا v تغییراتی به وجود آمد، خود طبیعت طرف دیگر را به گونه‌ای تغییر می‌دهد تا در نهایت p ثابت باقی بماند یعنی اگر m افزایش یابد v کاهش یافته و یا اگر m کم شود لاجرم v افزایش می‌یابد و همین اساس پرتاب موشک در آسمان می‌باشد که با کاهش جرم سرعتی بدان داده می‌شود، و سرعت افزایش می‌یابد خوب است در اینجا نگاهی به نسبیت خاص نیز بیاندازیم، اگر چنانچه کاهش جرم ادامه پیدا کند، سرعت بیشینه‌ای که پیدا می‌شود برابر سرعت c است یعنی $c.p=m$ ، حال در فرض اگر باز هم کاهش جرم ادامه پیدا کند، بقای اندازه حرکت زاویه‌ای با مشکلی روبرو می‌شود، چرا که در این حالت دیده می‌شود که جرم در حالت کاهش یافتن است، قوانین فیزیک اجازه نمی‌دهد که سرعت سیستم افزایش پیدا کند و از طرفی هم می‌بایست قانون بقای اندازه حرکت به گونه‌ای حفظ شود، لاجرم نظریه نسبیت به کمک می‌آید و اشاره می‌کند که در این حالت m که از آن صحبت می‌کنیم دیگر همان جرم سکون نیست، بلکه به مقداری به کمیت جرم اضافه می‌شود که آن کاهش جرم را جبران نماید، که به آن جرم نسبیتی می‌گویند که بر اساس

تبدیلات لورنس $\Delta m = \frac{\Delta m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ می‌باشد یعنی مناسب با افزایش سرعت

سیستم به جرم جسم افزوده می‌شود، و در حالت‌های سرعت نزدیک به سرعت نور باید از جرم نسبیتی در سیستم استفاده شود نه جرم سکون پس از همین معادلات $E = \Delta mc^2$ بدست می‌آید.

و اما قانون بقای ممنتوم زاویه‌ای این قانون به صورت زیر بیان می‌شود:

$$L = I W$$

که در این فرمول L اندازه حرکت، I ممان انرسی جرم دوار و W سرعت زاویه‌ای جسم دوار می‌باشد بنابراین L همواره می‌بایست ثابت باقی بماند پس I و W دستخوش تغییر می‌شود I به صورت

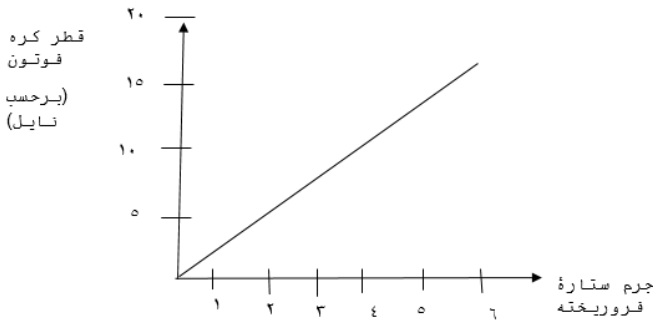
$\int mr^2 dr$ بوده پس وابسته به m و r می‌باشد، طبق این قانون اگر چنانچه یک توپ دواری با همان جرمی که دارد ناگهان شعاعش کم شود لاجرم برای بقای اندازه حرکت زاویه‌ای w افزایش می‌یابد و بالعکس، پس لاجرم در ستارگانی که در اثر رمبش کوچک و متراکم می‌شوند سرعت زاویه‌ای بالائی پیدا خواهند کرد.

حال بازمی‌گردیم به تئوری اسرائیل، در تئوری اسرائیل سیاهچاله سیال در نظر گرفته می‌شود و سیاهچاله به دو رسته سیاهچاله‌های غیر چرخان و چرخان تقسیم می‌شوند

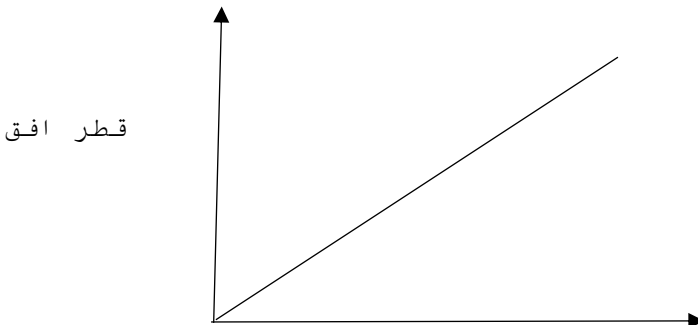
در سیاهچاله‌های غیر چرخان که به سیاهچاله‌های شوارزشیلد هم معروفند، همان طور که گفته شد ستاره به علت گرانش قوی در مقابل دژنرگی الکترونی و حتی نوترونی غلبه می‌کند و سرانجام به حد تکینگی می‌رسد و فضا زمان اطراف خود را به شدت خمیده می‌کند، به طوری که نور در اطراف آن به شدت منحنی می‌شود، در حدی، نور، محیطی دایروی را طی

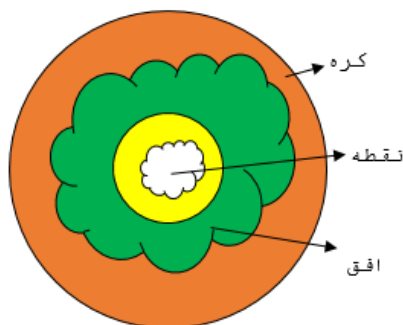
می‌کند که به آن حد دایره فوتون گفته می‌شود و در حد دیگر سرعت فرار از سرعت نور بیشتر می‌شود که به شعاع شوارزشیلد و یا افق رویداد موسوم است، اما در کره فوتون بسته به جهت فوتون توانائی فرار از این کره هنوز وجود دارد.

نمودارهای زیر نشان می‌دهد که چگونه قطر کره فوتون به عنوان تابعی از جرم سیاهچاله تغییر می‌کند، مثلاً سیاهچاله‌ای که سه برابر خورشید وزن داشته باشد با یک کره فوتونی به قطر ۲۵/۵ کیلومتر احاطه گردیده است.



در نمودار زیر نیز چگونگی قطر افق (افق رویداد) به صورت تابعی از جرم سیاهچاله تغییر می‌کند مثلاً سیاهچاله حاصل از ستاره فروریخته با جرم سه برابر خورشید، توسط یک افق رویداد به قطر تقریبی ۱۷ کیلومتر در بر گرفته است.





سیاهچاله‌های کر یا چرخان:

اگر ماده پیش از رمبش هر نوع چرخشی داشته باشد هر چقدر هم کم آن گاه هنگامی که رمبش در حال رخ دادن است این چرخش افزایش می‌یابد این اتفاق به سبب قانون فیزیکی مهمی موسوم به پایستگی تکانه زاویه‌ای رخ می‌دهد. اگر ستاره سازنده سیاهچاله به آهستگی دور خودش بچرخد. سیاهچاله نهایی هم چرخان خواهد بود و به سیاهچاله کر مشهور است.

اغلب ستاره‌ها در واقع چرخان هستند چون خودشان از رمبش گرانشی ابرهای پر جرم گازی با چرخش آهسته شکل می‌گیرند. پس می‌بینیم که چرخش احتمالاً خصوصیتی رایج برای سیاهچاله‌ها بی‌است که همین حالا از رمبش ماده شکل گرفته‌اند.

شاید چشمگیرترین ویژگی سیاهچاله‌های چرخان این باشد که میدان گرانشی اجسام را به سمت محور چرخش سیاهچاله می‌کشد و نه صرفاً به سوی مرکزش. این اثر را کشش چهارچوب می‌خوانیم.

ذره‌ای که به صورت شعاعی درون یک سیاهچاله کر بیفتد همان طور که به درون میدان گرانشی سیاهچاله سقوط آزاد می‌کند، مؤلفه‌های غیرشعاعی حرکت را به دست می‌آورد.

پس معنایش برای ذره آزمونی دارای چرخش این است که اگر به سوی جسمی پر جرم و چرخان سقوط کند محور چرخشش تغییر خواهد کرد مثل این است که چهارچوب مرجع محلی آن به سبب چرخش جسم پر جرم مرکزی کشیده شود.

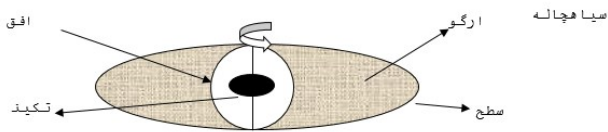
این پدیده که در سال (۱۹۱۸ / ۱۲۹۷) کشف شد و اثر لنزه — تیرینگ نامیده می‌شود، نه فقط در اطراف سیاهچاله‌ها بلکه در اطراف هر کره‌ای دوار صورت می‌گیرد معادلات این نوع از سیاهچاله‌ها بعدها توسط فردی به نام « دروی » نیوزلندی نوشته شد که جوابهای معادلات آن از جوابهای شوارزشیلد عمومی تر بود،

سیاهچاله‌های « کر » با آهنگ ثابتی می‌چرخد و اندازه و شکل آنها فقط به جرم و آهنگ چرخش شان بستگی دارد، اگر چرخش صفر باشد سیاهچاله کاملاً گرد و همان جواب شوارزشیلد را نتیجه می‌دهد. اما اگر چرخش غیرصفر باشد سیاهچاله در نزدیکی استوای خود برآمدگی خواهد داشت، بنابراین بدیهی بود که تصور کنند جسم چرخانی که فرو می‌پاشد تا سیاهچاله‌ای تشکیل دهد به حالتی خواهد رسید که با جواب کر توصیف می‌شود.

در سال ۱۹۷۰ میلادی « براندون کارتر » نشان داد که اگر سیاهچاله چرخان مانند فرفره‌ای چرخان دارای محور تقارن باشد اندازه و شکل آن فقط به جرم و آهنگ چرخش آن بستگی خواهد داشت پس در سال ۱۹۷۱ ها و کینگ اثبات کرد که هر سیاهچاله چرخانی در واقع چنین محور متقارنی دارد.

بنابراین سیاهچاله پس از فروپاشی گرانشی باید به حالتی برسد که بتواند بچرخد اما تپشی ندارد، به علاوه اندازه و شکل سیاهچاله فقط به جرم و آهنگ چرخش آن و نه به طبیعت جسمی که رمبش کرده بستگی دارد و به اصطلاح سیاهچاله مو ندارد بر اساس این قضیه مهم نیست که چه چیزی در سیاهچاله‌ها سقوط می‌کند، تنها ویژگی‌ها بی که باقی می‌مانند، عبارتند از جرم کل، بار و اندازه حرکت زاویه‌ای جسم، بنابراین اگر دانشنامه‌ای در سیاهچاله سقوط کند تمام اطلاعات درون آن از بین می‌رود.

در اطراف سیاهچاله دوار همان طور که می‌دانیم طبق $V=r\omega$ سطوح مختلفی در حال گردش هستند که با افزایش فاصله از مرکز سیاهچاله v افزایش می‌یابد اما حدی که v می‌تواند افزایش پیدا کند جایی است که سرعت خطی برابر سرعت نور است یعنی c ، یعنی یک شعاع حدی دیگری به دور سیاهچاله تعریف می‌شود، که در این ناحیه اگر جسمی قرار بگیرد، سرعت خطی آن به سرعت نور می‌رسد، پس لاجرم رسیدن به سرعت نور برای اجرام مادی از لحاظ فیزیکی میسر نیست، پس لاجرم اینجا منطقه‌ای است که در بیرون از آن به علت نیروی گریز از مرکز عملاً چیزی بدان وارد نمی‌شود و از داخل سیستم هم در نزدیکی آن حتی نور به صورت کروی حرکت می‌کند، پی این منطقه را، منطقه ایستائی می‌گویند، در بین این منطقه و شعاع شوارزشیلد منطقه‌ای است که بدان منطقه ارگوسفر گفته می‌شود، و جالب است که این منطقه بر اساس نظریه اسرائیل که سیاهچاله را سیال فرض می‌کند از حالت دایره‌ای خارج است به صورت بیضی نسبتاً کشیده می‌باشد.



سیاهچاله

پس در منطقه ایستائی چیزی نمی‌تواند باشد مگر آنکه سرعتش برابر سرعت نور باشد و آن چیزی نیست جز فوتون، و ذرات بدون جرم، و همین وجود انرژی بسیار بالا در این منطقه است که شرایط را به وجود می‌آورد که تولید زوج در این منطقه صورت پذیرد، و تابش‌هایی از آن صورت گیرد که در جای خود بدان می‌پردازیم.

بازگشتی دوباره به مبحث کرم چاله:

همان طور که گفتیم در بعد از شعاع شوارزشیلد تا نقطه تکینه از جمله مناطقی محسوب می‌شود که به اصطلاح اختریفیک دانان سانسور شده است، و قابل مشاهده نیست.

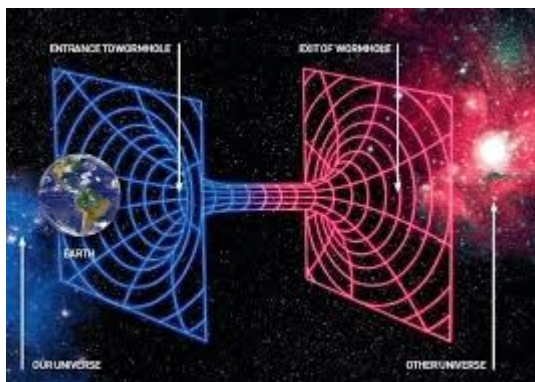
آنچه مشخص است در این منطقه فضا - زمان به شدت پیچ خورده و همانند کیفی می‌باشد که دهانه بازتر آن به سوی شعاع شوارزشیلد و قسمت تنگ تر آن به سوی نقطه تکینه پیش رفته است خاطر نشان می‌گردد که بنا به اصل نسبیت از دو منظر می‌توان به این منطقه نگاه کرد، یکی از منظر کسی که خود داخل سفینه‌ای است و به جانب آن نقطه تکینه در حال حرکت است و یکی از منظر ناظری که این حادثه و پیامد را ملاحظه می‌کند. از منظر، ناظر سوار بر سفینه در نهایت با سرعت به داخل سیاهچاله سقوط می‌کند ولی ناظری که از بالا این حادثه را نگاه می‌کند ملاحظه می‌کند که سفینه به سوی سیاهچاله می‌رود ولی چون همان طور که گفتیم در آن ناحیه زمان کند و به صفر گرایش پیدا می‌کند، هیچ گاه سفینه به داخل

فیزیک سیاهچاله‌ها*۱۰۳

سیاهچاله سقوط نمی‌کند، از دید نسبیت خاصی دید ناظر بیرونی صحیح است و دید ناظر داخل سفینه صحیح نمی‌باشد بدین لحاظ انیشیتین به همراه همکاری به نام رزین در پی نوشتن معادلات این حادثه شدند.

جالب اینکه متوجه شدند معادلات از سطح تخت آغاز وارد سطوحی قیفی شکل می‌شود ولی با گذشت زمان دوباره به سوی تخت شدن پیش می‌رود و اصلاً به نقطه تکینه برخورد نمی‌کند.

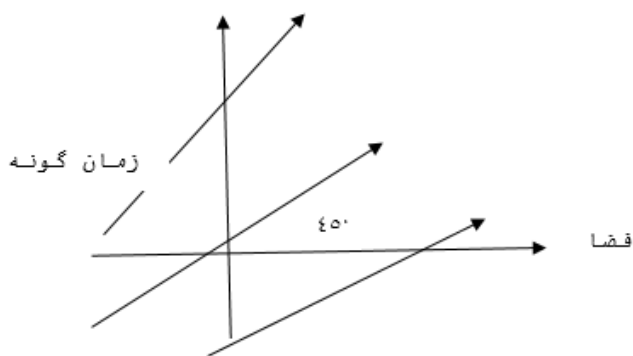
این پل را به نام پل انیشیتین - رزین نامگذاری کرده و آن را پلی جهت رفتن به جهانی دیگر مناسب دانستند و بعدها نام این پل کرم چاله گذاشته شد.



این پل نه تنها می‌توانست به عنوان یک ماشین جهت ورود به جهان‌ها ی دیگر مورد استفاده قرار گیرد می‌توانست به عنوان میانبر در فضا هم مورد استفاده داشته باشد.

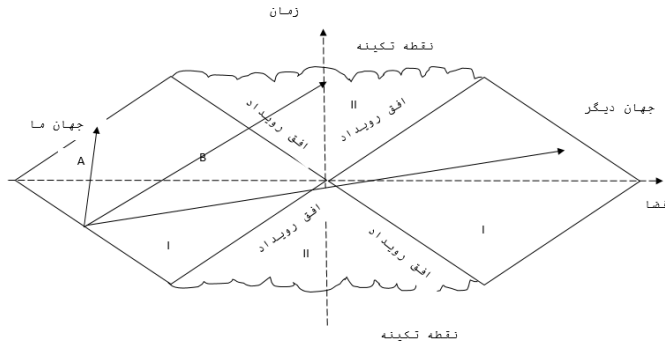


البته نکته شایان توجه همان گونه که گفتیم این بود که برای عبور از این پل باید سرعتی بالاتر از سرعت نور داشت که البته قابل حصول به نظر نمی‌رسید، انیشتین و رزین متوجه شدند که ستارگانی بزرگتر از ۱۰۰۰۰ برابر جرم خورشید به علت بزرگ بودن شعاع شوارزشیلد و کمتر بودن اثرهای کنش گرانشی می‌تواند این سرعت را به کمتر از سرعت نور هم تقلیل داد، برای درک این مسئله دانشمندی به نام پن روز نمودارهایی را کشید و به شرح این مسئله پرداخت این نمودارها شبیه به نمودارهای جهان خط بودند که قبلاً بدان اشاره شده بود



که محور افقی بعد فضا و محور قائم بعد زمان را نشان می‌داد اگر چنانچه شیب خطی در این نمودار برابر با 45° باشد به آن خط، بردار نور گونه گفته می‌شود اگر بردار از 45° کمتر باشد، بردار زمان گونه اطلاق می‌شود، یعنی برای پیمودن مسافت کمی زمان زیادی صرف می‌شود و اگر شیب خط از 45° بیشتر باشد، به آن بردار فضا گونه می‌گویند یعنی برای پیمودن مسافت زیادی زمان کمی صرف می‌شود، که باید سرعت از سرعت نور بیشتر باشد که به لحاظ فیزیکی غیرممکن است. پس در بین بردارهای ذکر شده بردار نورگون برای اجسام بدون جرم است و فقط حالت زمان گونه مجاز می‌باشد.

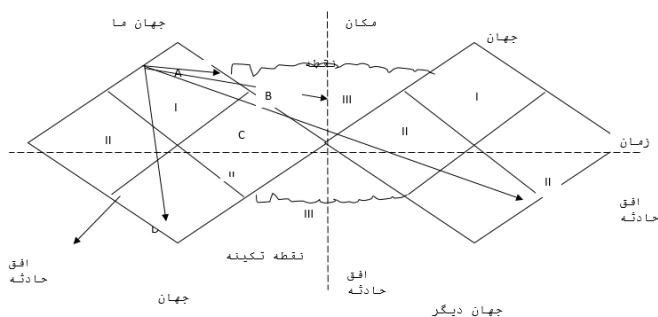
پن روز نمودار سیاهچاله را به گونه زیر در فضا - زمان مشخص می‌کند،



در این نمودار که ملاحظه می‌شود مناطقی I و II وجود دارند که منطقه I منطقه‌ای خارج از افق رویداد است منطقه II منطقه بین افق رویداد و نقطه تکینه است، اگر بخواهیم سفر A را انجام دهیم، از ناحیه‌ای از فضا - زمان به ناحیه دیگر با سرعت زیر سرعت نور حرکت می‌کنیم که سفری معمولی و مجاز می‌باشد، و اگر بخواهیم در سفر B را انجام دهیم، از نقطه از فضا - زمان جهان ما به داخل افق رویداد رفته و سرانجام در نقطه تکینه متوقف و نابود می‌شود و این رویداد هم امکان پذیر است اما سفر C، اگر چنانچه سفر C را داشته باشیم و از افق رویداد وارد جهان دیگر شویم این سفر چون سرعتی بالاتر از سرعت نور را می‌خواهد لذا غیر ممکن محسوب می‌شود. این پدیده‌ها که گفتیم مربوط به حالت سیاهچاله‌ها ی شوارزشیلد غیرچرخان بود، اگر بخواهیم نمودارهای پن روز را برای سیاهچاله‌ها ی گُر بکشیم وضع به گونه‌ای دیگر خود را نشان می‌دهد، که بسیار جالب است.

همان طور که در متون قبل دیده شد در کهکشانهای چرخان به علت اعمال تقریب‌ها ی ورنر اسرائیل به سیستم سیاهچاله‌ای در اثر گردش دو منطقه افق رویداد در اطراف سیاهچاله به وجود آمد، یکی منطقه‌ای که قبل از افق منطقه ایستائی است، بین منطقه ایستائی و شوارزشیلد، و بین شعاع

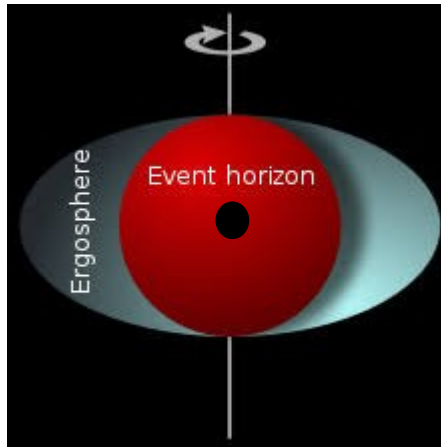
شوارزشیلد و نقطه تکینه که می‌توان در نمودار پن روز بدین گونه نمایش داد:



در نمودار فوق نمودار فضا - زمانی پن روز برای سیاهچاله گُر کشیده شده است.

همان گونه که ملاحظه می‌شود مناطقی که در این نمودار مشخص است سه ناحیه I، II و III می‌باشد، ناحیه I، ناحیه‌ای مثل جهان ماست، با همان قوانین و سنن، ناحیه II ناحیه افق حادثه داخلی است و افق حادثه خارجی و بالاخره ناحیه III منطقه بین افق حادثه داخلی و بیگانه‌ی یا نقطه تکینه می‌باشد، نکته قابل توجه این است که، در کهکشانهای شوارزشیلد نقطه تکینه فضاگونه است یعنی بعد فضایی به صفر گرایش پیدا می‌کند در صورتی که گذر زمان هنوز بی نهایت نشده است

ولی در سیاهچاله‌ها ی کر این گونه نیست بلکه نقطه تکینه زمان گونه است یعنی زمان متوقف می‌شود در صورتی که هنوز فضا به نقطه تکینه نرسیده است.



حال فضاوردی را در نظر بگیرید که در مجاورت یک سیاهچاله چرخان سفرهای فضایی مختلفی انجام می‌دهد البته به خاطر داریم که تنها مسیرهای زمان گونه مجاز هستند

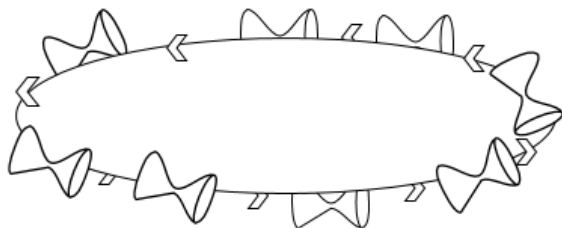
فضانورد در مسیر A زمین را ترک می‌کند، اما به سیاهچاله چندان نزدیک نمی‌شود، و سفر خود را جایی در جهان خود ما ختم می‌کند، در مسیر B مجدداً زمین را ترک می‌کند اما این دفعه مستقیماً به سمت سیاهچاله چرخان حرکت می‌کند، او از نخستین افق حادثه گذشته و سپس از دیگری هم می‌گذرد، و در حرکت مستقیم به سمت یکتایی در صفحه استوایی سیاهچاله عاقبت در اثر فشارهای بی نهایت زیاد له می‌شود.

از جمله خواص سیاهچالگان چرخان این است که اگر از افق حادثه بگذریم محکوم به تصادم با یکتایی نیستیم، مثلاً فضاوردی که از مسیر C حرکت می‌کند او پس از عبور از مناطق II و III، افق حادثه را پشت سر می‌گذارد و از جهان دیگر سر در می‌آورد، در مسیر D هم که سفر غیرممکن

می‌باشد. بحث دیگری که در اینجا لازم به ذکر است این است اگر فضا - زمان را منحنی بسته‌ای در نظر بگیریم، لاجرم، نمودار کشیده شده ممکن است شبیه یک نقشه زمین در نظر گرفته شده باشد که از حالت کروی به شکل مسطح در آمده است پس لاجرم در این خصوص ممکن است که پس از گذر از سیاهچاله دوباره به فضا - زمان خودمان وارد شویم ولی در زمانی عقب تر و خودمان را در حال سوار شدن به سفینه ملاقات کنیم، که البته با اصل علیت در تعارض آشکار است

همان طور که در شکل بالا دیده می‌شود، در یک سیکل آینده روبروی گذشته یک سیستم قرار می‌گیرد، و این با اصل علیت جور در نمی‌آید.

u



سیاهچاله‌های باردار:

برای پرداختن به سیاهچاله‌های باردار می‌بایست به کنش انیشتین - ماکسول توجه نمود که در این کنش علاوه بر جرم و توجه به نیروی گرانش به بزرگی نیروی کلونی نیز توجه می‌شود بر اساس این پیش فرض متریکی نگاشته می‌شود که به نام راسینر - نوردستروم شناخته می‌شود.

$$ds^2 = \frac{-\Delta}{r^2} dt^2 + \frac{r^2}{\Delta} dr^2 + r^2 d\pi^2$$

در این متریک آنچه مطرح است این است که $M < |Q|$ و $\Delta = r^2 - 2Mr + Q^2$

می باشد، برای وقتی که $r \rightarrow \infty$ پیش می رود، یک پوسته مادی با بار Q و شعاع R وجود دارد، و با توجه به هم ارزی جرم لختی M و انرژی کل از نسبیت خاص و هم ارزی جرم لختی و جرم گرانشی از نسبیت عام داریم

$$M_{total} = M + \frac{GQ^2}{R} - \frac{GM}{R}$$

این یک معادله درجه دوم برای M است جواب برای حالتی $M \rightarrow \infty$ و $R \rightarrow \infty$ پیش می رود

$$M(R) = \frac{1}{\sqrt{G}} [(R^2 + \epsilon M.R + \epsilon G^2 Q^2)^{\frac{1}{2}} - R]$$

اگر M با کاهش R کاهش یابد، انرژی جنبشی افزایش می یابد

$$M' = \frac{G(M^2 - Q^2)}{2MGR - R^2}$$

همیش وقتی است که $|Q| > M$ باشد،

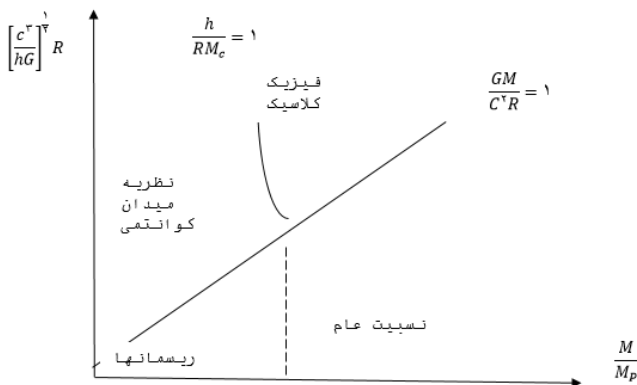
$M(R)$ حالتی که $R \rightarrow \infty$ پیش می رود چقدر است $M \rightarrow Q$

پس نسبیت عام مشکل بی نهایت بودن خود انرژی ذرات نقطه‌ای در الکترومغناطیس کلاسیک را برطرف می کند، ذره نقطه‌ای یک سیاهچاله رایسنر - نوردشتروم حدی $M = |Q|$ می شود.

در مورد الکترون که $M \ll Q$ است چون جاذبه گرانشی در مقایسه با دافعه کولونی ناچیز است، و چون طول موج کمپتون الکترون بسیار بزرگ تر از شعاع شوارزشیلد الکترون است پس داریم

$$\frac{\text{طول موج کمپتون}}{\text{شعاع شوارزشیلد}} = \frac{\frac{h}{Mc}}{\frac{MG}{c^2}} = \frac{hc}{M^2 G} \ll 1$$

$$M \gg \left(\frac{hc}{G}\right)^{\frac{1}{2}} = M_p \text{ جرم پلانک}$$

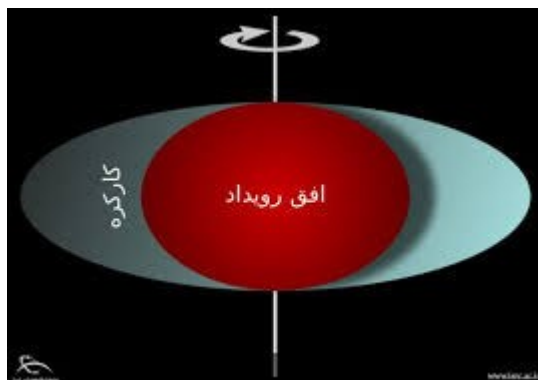


اگر $|Q| > M$ باشد Δ صفر می‌شود پس در V ما تکنیکی داریم، اما آیا تکنیکی‌ها ی مختصاتی هستند پس ابر سطوح‌ها تهی هستند، ابر سطوح تهی، افق‌ها ی میدان برداری با گرانش سطحی $k_{\pm}$ هستند

ابر سطوح تهی قسمت‌ها یی از فضا و زمان هستند که مسیر ذره در سطح مشابه ذره‌ای با نسبت بار به جرم δ است که در فضا زمان راینسر - نوردشتروم به طور شعاعی سقوط می‌کند.

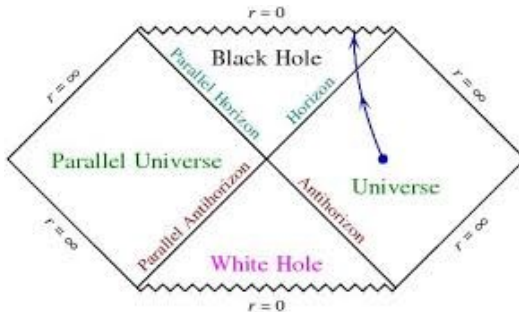
این مسیر به خاطر دافعه الکتروستاتیکی اضافی، ژئودزیک نیست، سرانجام رمبش توسط دافعه الکتروستاتیکی متوقف خواهد شد، تمام منحنی‌ها ی زمان گونه که در درون $r < r_+$ هستند باید تا $r < r_-$ ادامه یابند، پس در ناحیه ۷ جهش اتفاق خواهد افتاد، سپس کره وارد ناحیه III می‌شود و بعد در ناحیه I به عنوان یک سفیدچاله منفجر شده و آنگاه دوباره رمبیده و به طور نامتناهی انبساط می‌یابد

پس در سیاهچاله‌ها ی بارداری ما با سه حالت مواجه هستیم یا $M > Q$ یا $M = Q$ و یا $M < Q$ اگر چنانچه $M > Q$ باشد به همان گونه کهکشانی‌های شوارزشیلد گرانش غلبه کرده و یک نقطه بی بعد جرم متمرکز می‌شود و اما اگر $M > Q$ باشد، غلبه گرانشی جای خود را به دافعه کلونی می‌دهد، در اینجا می‌شود به دو گونه صحبت کرد یکی اینکه ما مثل حالت چرخان دو افق رویداد داشته باشیم، یکی افق رویدادی که مربوط به جرم است که همان شعاع شوارزشیلد است و دیگری افق رویدادی است که مربوط به انرژی کلونی در اطراف سیاهچاله پدید می‌آید پس بین شعاع شوارزشیلد و منطقه افق رویداد کلونی منطقه‌ای نظیر منطقه ارگوسفر در سیاهچاله‌ها ی چرخان به وجود می‌آید با این تفاوت که این منطقه می‌بایست منطقه‌ای به شکل کروی باشد.



در این منطقه هم چیزی نمی‌تواند باشد جز ذرات بدون بار و بدون جرم که همان فوتون‌ها هستند و همین وجود انرژی بسیار بالا در این منطقه را گوشزد می‌کند که شرایطی را به وجود می‌آورد که تولید زوج در این منطقه صورت پذیرد و سبب ایجاد تابشهایی در این منطقه می‌باشد.

آنچه مسلم است اگر $Q \gg M$ باشد افق رویداد سطح کولونی نسبت به شعاع شوارزشیلد بزرگتر است و ناحیه بین بالتبع ناحیه وسیعتری می‌باشد و اگر $Q \ll M$ باشد ناحیه میانی ناحیه‌ای با وسعت کمتر است، پس در حالت اول تشعشع بیشتری از سیاهچاله به وجود می‌آید و در حالت دوم تشعشع کمتری را داریم، و اگر $Q=M$ باشد این ناحیه تقریباً حالت متوسطی را دارد و تشعشع متوسطی را از آن شاهد خواهیم بود، در اینجا هم می‌توان مشابه همان سیاهچاله‌ها ی چرخان از نمودارهای پن روز برای سیر در سیاهچاله‌ها استفاده نمود.

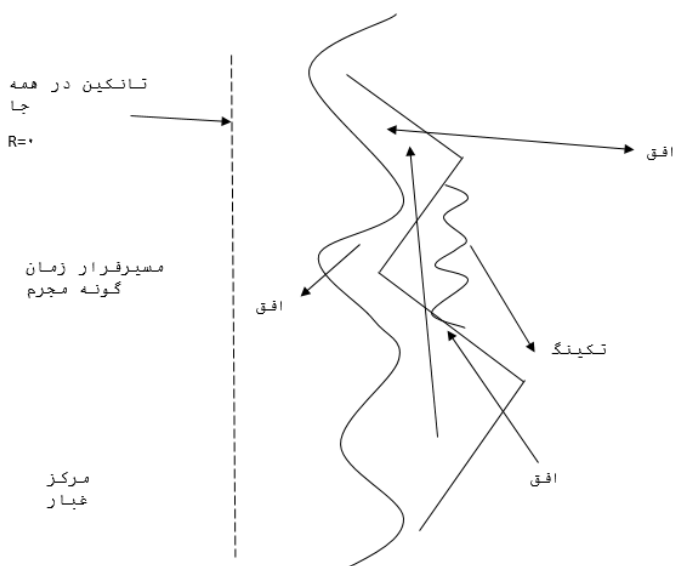


$|Q| > M$ ذره‌ای در روی یک ژئودزیک شعاعی رو به داخل راسینر-
نوردستروم به تکینگی $V=0$ برخورد خواهد کرد اما یک مرتبه در ناحیه V یا
VI می‌تواند به طرف بیرون تکینگی شتاب بگیرد و از طریق سفیدچاله ناحیه
III وارد ناحیه خارجی جدید شود با این وجود راهی برای جلوگیری از ورود
ذره به سیاهچاله وجود ندارد و ذره وارد سیاهچاله می‌شود، چون برای
رسیدن به ناحیه I باید از افق کوشی عبور کند یعنی ابر سطحی که هیچ
منحنی علی بیش از یک بار آن را قطع نمی‌کند یک منحنی علی غیرقابل
توسعه به گذشته است،

$M=Q$ این متریک در $r=M$ دارای تکینگی است پس گرانش سطحی
 $K=0$ یعنی تبهگن است

$K = \frac{\delta}{\delta r}$ می‌باشد لاجرم تعادلی دقیق بین جاذبه گرانشی و دافعه
الکترواستاتیک وجود دارد.

فیزیک سیاهچاله‌ها * ۱۱۵



ریز سیاهچاله‌ها و ابر سیاهچاله‌ها ی پر جرم

ریز سیاهچاله‌ها:

استفان‌ها و کینگ عنوان می‌کند که در آغاز تکوین عالم به علت وجود فشار و چگالی موجود در آن دوران می‌توانسته زمینه به وجود آمدن سیاهچاله‌ها ی کوچکی به اندازه 10^{-33} / گرم جرم و شعاع 10^{-33} متر را ایجاد نماید که در بازه کوانتومی می‌باشد.

او معادلات نسبیت عام را برای سیاهچاله‌ها ی 10^{10} گرمی حل کرد او با شگفتی تمام ملاحظه کرد که حل معادلات او نیز خلق و گسیل ذرات و تابش از چنین شی داغی را پیش بینی می‌کند در واقع همان طیف از ذرات و تابش را پیش بینی می‌کند که ممکن است از شی داغی با 10^{12} میلیارد کلون صادر شود. بنابراین به نظر می‌رسد دو اصل معتبر دربارهٔ سیاهچاله‌ها نقض شده است اینکه چیزی از هسته سیاهچاله نمی‌گریزد و دمای آنها تقریباً صفر کلون است در آینده در مبحث ترمودینامیک سیاهچاله‌ها بدان خواهیم پرداخت.

طبق نظرها و کینگ اگر سیاهچاله‌ها به تدریج تابش کنند در این صورت آنها کم کم تضعیف و محو شده و دمایشان افزایش یافته و سرانجام به انفجاری با انرژی 10 میلیون بمب هیدروژنی می‌رسد و این مشاهده پذیر است برنامه شاتل فضایی در آینده نزدیک ردیابی چنین جرم‌ها یی است.

سیاهچاله‌های کنترل کننده کهکشانشان:

مک گوریان متوجه رابطه‌ای ویژه بین مرکز کهکشانشان که سیاهچاله‌ای عظیم پیش بینی می‌شود و خود کهکشانشان قائل شد به محاسبه مک گوریان، سیاهچاله مرکزی هر کهکشانی حدود $0/5$ درصد از جرم کلی

کهکشانشان را داراست، و فرم و ریخت کهکشانشانها و وجود ستارگان تمام در تحت کنترل آن می‌باشد.

به این محاسبات قرص‌ها ی بر افزایشی عظیمی در حول یک سیاهچاله به وجود می‌آید که به دور آن در حال گردش است، و مشاهده شده که انرژی به صورت جابجایی در این قرص‌ها جریان می‌یابد و ساختار ستارگان و اجرام درون کهکشان‌ها از همین فورانه‌های انرژی صورت می‌پذیرد.

بنا به محاسبات مک گوریان سیاهچاله نه به عنوان یک ناهنجاری و جرمی زائد بلکه به عنوان جرمی مؤثر و بنیادین در کهکشانشان محسوب می‌شود. پس می‌توان گفت که حتی کهکشان راه شیری نیز به گونه‌ای سیاهچاله‌ای در خود دارد که حتی تشکیل حیات در درون این کهکشان نیز حاصل هدایت همان سیاهچاله صورت می‌گیرد.

ابر سیاهچاله‌های پر جرم:

رسته‌ای از سیاهچاله‌ها بسیار سنگین تر و پر جرم تر هم وجود دارند که جایگاه ویژه‌ای در نواحی مرکزی کهکشان اشغال می‌کنند. سیاهچاله‌های ابر پر جرم (super massive black hole) با جرمی معادل چندین میلیون تا چند میلیارد برابر جرم خورشید سنگین ترین نوع سیاهچاله‌ها هستند، ابر سیاهچاله‌ها در مرکز کهکشانه‌های غول پیکر بیضوی یا مارپیچی مسن قرار دارند، در واقع دانشمندان انتظار دارند در مرکز همه کهکشان‌ها یی از این نوع سیاهچاله‌ها وجود داشته باشند البته کهکشان‌ها یی نیز شناسایی شده‌اند که با وجود ابعاد بسیار بزرگ و طول عمر زیادشان، نشانه آشکاری از وجود سیاهچاله سنگین در مرکز یا با محدوده‌ها له برآمده اطرافشان ندارند.

چگالی سیاهچاله ابر پر جرم:

سیاهچاله‌ها ی ابر پر جرم ویژگی‌ها ی جالبی دارند که آنها را از سایر انواع سیاهچاله‌ها متمایز می‌کند، از جرم بسیار زیادشان که بگذریم، نکته جالب و عجیب در مورد سیاهچاله‌ها ی ابر پر جرم این است که چگالی کمی دارند و در مواردی ممکن است چگالی آنها از آب هم کمتر باشد! برای محاسبه چگالی یک جسم لازم است جرم و حجم آن را بدانیم جرم سیاهچاله به روش‌ها ی مختلف قابل اندازه گیری است، مثلاً ساده ترین این روش‌ها بررسی نحوه حرکت ستاره‌ها با خوشه‌ها ی ستاره‌ای در اطراف سیاهچاله و استفاده از قوانین کپلر است.

چگالی سیاهچاله به صورت جرم آن تقسیم بر حجمی که از طریق شعاع شوارتزشیلد سیاهچاله به دست می‌آید تعریف می‌شود. شعاع شوارتزشیلد نسبت مستقیم با جرم سیاهچاله دارد

هر چه جرم بیشتر باشد، شعاع شوارتزشیلد بزرگتر است ولی چگالی با حجم نسبت معکوس دارد از آن جا که حجم جسم کروی با توان سوم شعاع آن نسبت مستقیم دارد چگالی سیاهچاله نسبت معکوس با توان دوم جرم پیدا می‌کند، و سیاهچاله‌ها ی سنگین تر چگالی متوسط کمتری خواهند داشت:

$$V_S = \frac{2Gm}{c^3}, V_S = \frac{4}{3}\pi r_s^3 \quad \text{شعاع شوارتزشیلد}$$

$$P = \frac{m}{V}, P = \frac{2c^3}{32\pi^3 G^3} \frac{1}{m^2} \rightarrow p \propto \frac{1}{m^2}$$

نیروهای کشندی در اطراف سیاهچاله ابر پر جرم:

ابعاد بزرگ و چگالی پایین ابر سیاهچاله سبب می‌شود نیروی کشندیشان مانند چیزی نباشد که در سیاهچاله‌ها ی معمولی سراغ داریم،

واقعیت این است که نیروهای کشندی در نزدیکی مرز یا در افق رویداد سیاهچاله ابرپرچرم ضعیف اند.

هر اتفاقی که در مرز داخلی افق رویداد رخ می‌دهد با افق بیرون سیاهچاله ارتباطی ندارد، فضاورد فرضی که به سیاهچاله ابرپرچرم سفر می‌کند تا زمانی که فاصله ایمنی داشته باشد و بیش از حد به نقطه مرکزی سیاهچاله نزدیک نشده باشد، اختلاف نیروی کشندی شدیدی احساس نمی‌کند، با آنکه گرانش قوی از طرف سیاهچاله بر وی اعمال می‌شود، تفاوت نیروی وارد به سر و پاهای فضاورد زیاد نیست. از این فرض محال که بگذریم اثرات ضعیف بودن نیروهای کشندی سیاهچاله‌ها ی ابرپرچرم در حرکت و ساختار ستاره‌ها ی اطراف آن عینیت می‌یابد و این پدیده‌ای است که قابل مشاهده و اندازه گیری است.

شکل گیری سیاهچاله‌ها ی ابرپرچرم:

تا به امروز روشهای مختلفی برای شکل گیری سیاهچاله‌ها مطرح کرده‌اند آن چه در مورد سیاهچاله‌ها ی ابرپرچرم بیشتر پذیرفته شده است این است که این سیاهچاله‌ها هم زمان و موازی با تحول کهکشان میزبان شان رشد می‌کنند و گسترش می‌یابند. این سیاهچاله ابرپرچرم با همان ابعاد بزرگ و جرم زیاد به یک باره ایجاد شده باشد فرض درستی نیست بلکه آنها سیاهچاله‌ها ی کوچکی بودند که شروع به رشد کرده اند، اگر سیاهچاله‌ها ی کوچک در مکان مناسبی در کهکشان باشد می‌تواند ماده ستاره‌ها ی اطراف خود را جذب کند و بزرگتر و پر جرمتر شود.

سیاهچاله‌ها ی کوچک نقش بذر شکل گیری سیاهچاله‌ها ی بزرگ را دارد و خود به روشهای مختلفی ایجاد می‌شود. برای مثال سیاهچاله‌ای با جرم چند ده یا چند صد برابر جرم خورشید از انفجار ستاره‌ای سنگین در مراحل پایانی تحول اش ایجاد می‌شود، بعد از این مرحله مسیر تحول

سیاهچاله به کهکشان میزبان‌ش بستگی دارد. اگر کهکشان بتواند به اندازه کافی ستاره و گاز و غبار میان ستاره‌ای برای تغذیه سیاهچاله کوچک فراهم کند سیاهچاله امکان بزرگ شدن دارد، سیاهچاله مرکز کهکشان، ستاره‌ها و مواد سازنده آنها را در قالب قرص‌های عظیمی از ماده که قرص بر افزایشی نامیده می‌شود در می‌آشامند و بزرگ و بزرگتر می‌شوند.

فرآیند تشکیل غیرعادی:

گاهی مواردی مشاهده و شناسایی می‌شود که با الگوی مطرح شده قبلی مطابقت ندارد چنین ناسازگاری‌ها بی سبب می‌شود، دانشمندان نتوانند به یقین در مورد چگونگی شکل‌گیری ابر سیاهچاله‌ها اظهار نظر کنند. مثلاً سیاهچاله‌ای ابرپرجرم در کهکشان کوتوله "هنایز ۲-۱۰"

(۲-۱۰ Henize) که توده مرکزی ندارد کشف شد. و شاید مفهوم آن این باشد که برای تشکیل سیاهچاله‌ای ابرپرجرم، عمر دراز کهکشان ضرورتی ندارد. حتی ممکن است این طور استنباط شود که در مواردی ترتیب شکل‌گیری سیاهچاله و تحول کهکشان روند عکس دارد یعنی ممکن است حضور سیاهچاله ابرپرجرم در کهکشانی بدون توده مرکزی نشان از این احتمال باشد که سیاهچاله‌ها بی وجود دارند که قبل از برآمدگی کهکشان شکل می‌گیرند.

سیاهچاله مرکزی کهکشان راه شیری:

در ناحیه‌ای از مرکز کهکشان ما، ۲۶۰۰۰ سال نوری دورتر از خورشید سیاهچاله‌ای پرجرم اقامت دارد از دید یک ناظر زمینی این بخش از کهکشان در محدوده صورت فلکی قوس و عقرب در ناحیه‌ای موسوم به قوس A* واقع است، ستاره‌شناسان چگونه به وجود آن پی بردند؟
قوس A* منبع تابش رادیویی بسیار درخشان و متمرکز در نزدیکی کهکشان است و بخشی از جرم نجومی بزرگتری به نام قوس A* بر اساس

مدل‌های کیهان‌شناسی، تابشی به این شدت در ناحیه امواج رادیویی ممکن است نشانه‌ای از وجود سیاهچاله باشد.

ستاره‌شناسان حرکت صدها ستاره را در شعاع یک پارسی محدودده‌ای که گمان می‌شد محل قرارگیری سیاهچاله است بررسی کردند و توانستند معیاری از جرم آن و نیز نحوه توزیع ماده در فضای اطرافش بدست آورند.

در این منطقه ستاره به نام S₂ در فاصله ۱۷ ساعت نوری (۱۲۰ واحد نجومی) در مداری بیضی شکل با دوره تناوب ۱۵/۲ سال به دور جسمی نامرئی می‌گردد بررسی حرکت این ستاره نشان می‌داد جسم نامرئی که عامل ایجاد حرکت بود. جرمی معادل ۴/۱ میلیون برابر خورشید دارد این در حالی است که شعاع آن ناگزیر باید از ۱۷ ساعت نوری کمتر باشد زیرا این مقدار کمترین فاصله مدار ستاره تا مرکز این جرم بود. و اگر ابعاد جرم از این بیشتر بود ستاره به آن برخورد می‌کرد یا در اثر نیروی کشندی از هم می‌پاشید. مطالعات جدید که با دقت و توان تفکیک بالا در طول موج ۱/۳ میلی متر انجام شده نشان می‌دهد ابعاد این جسم از ۴۴ میلیون کیلومتر بیشتر نیست فقط یک سیاهچاله می‌تواند جرم به این اندازه ۴/۵ میلیون خورشید را در این ابعاد کوچک جای دهد.

نکته جالب این است که پیکره بندی متفاوتی از همین مقدار جرم نیز می‌توانسته توزیع سرعت و ماده رصد شده را توضیح دهد به عنوان مثال می‌شد به جای یک ناحیه متراکم واحد، دو یا چند توده ماده را در نظر گرفت به طوری که وضعیت قرار گیری توده‌ها نسبت به هم و مرکز کهکشان به گونه‌ای باشد که حرکت مشاهده شده ستاره‌ها را توضیح دهد. اگر این اتفاق می‌افتاد ساختار فرضی نمی‌توانست پایدار باشد پس در مدتی کمتر از طول عمر کهکشان راه شیری به هم برخورد می‌کردند و سیاهچاله واحد تشکیل می‌دادند و وضعیت کنونی به وجود می‌آمد.

سیاهچاله‌های ابرپرجرم در کهکشانهای دیگر

نظر بر این است که در مرکز بسیاری از کهکشان‌ها سیاهچاله‌ای ابرپرجرم وجود دارد حتی ممکن است برخی کهکشان‌ها ی خاص میزبان چندین سیاهچاله باشند هر قدر کهکشان پر جرم تر و قدیمی تر باشد احتمال وجود ابر سیاهچاله در آن بیشتر است توافق خوبی که بین پیش بینی نظری و مشاهدات دقیق در خصوص جرم سیاهچاله و توزیع سرعت ستاره‌ها در برآمدگی مرکز کهکشان وجود دارد نه تنها دلیل محکمی بر وجود سیاهچاله‌ها ی ابرپرجرم است بلکه از ارتباطی نزدیک بین نحوه شکل گیری سیاهچاله و تحول خود کهکشان خبر می‌دهد.

همبستگی ام – سیگما

همبستگی ام – سیگما رابطه تجربی بین توزیع سرعت ستاره‌ها در برآمدگی مرکزی کهکشان و جرم سیاهچاله ابرپرجرم مرکزی آن است. مطالعه سرعت ستاره‌ها در تعدادی از کهکشانهای نزدیک به رابطه زیر برای همبستگی ام – سیگما منجر می‌شود:

$$\frac{M_{\text{سیاهچاله}}}{10^8 M_{\odot}} \approx 1/9 \left[\frac{\sigma}{200 \text{ kms}^{-1}} \right]^{0.1}$$

در این رابطه M جرم سیاهچاله و M . جرم خورشید و σ تابع توزیع سرعت ستاره‌ها در کهکشان است کشف این ارتباط بسیاری از ستاره شناسان را متقاعد کرد تا بپذیرند سیاهچاله ابرپرجرم جزء مهم و اساسی در کهکشان‌ها است تا قبل از سال ۲۰۰۰، مهم ترین مسئله تنها آشکارسازی سیاهچاله ابرپرجرم بود اما در سال‌ها ی بعدی علاقه دانشمندان به سمت دانستن نقش سیاهچاله ابرپرجرم در کهکشانها معطوف شد.

هر چند توضیح دلایل این ارتباط هنوز به درستی مشخص نیست طبیعت نامعلوم ماده و انرژی تاریک عاملی در فهمیدن این پدیده است.

سیاهچاله‌های کهکشانهای همسایه

آندرومدا کهکشان همسایه راه شیری در فاصله ۲/۳ میلیون سال نوری در مرکز خود سیاهچاله‌ای دارد که با جرمی معادل ۱۱۰ تا ۲۳۰ میلیون برابر خورشید از سیاهچاله مرکزی کهکشان راه شیری بزرگتر و سنگین تر است اما این سنگین ترین سیاهچاله نیست. به نظر دانشمندان مقام اول میزبانی سیاهچاله‌ها ی ابرپرجرم در بین کهکشان‌ها ی همسایه راه شیری را به $8.7M_{\odot}$ در فاصله ۵/۵ میلیون سال نوری تعلق دارد جرم ابر سیاهچاله مرکزی این کهکشان ۶/۴ میلیارد برابر جرم خورشید تخمین زده شده است. این همان سیاهچاله است که در دهم آوریل سال ۲۰۱۹ برای اولین بار تصویری از آن منتشر شد و این اولین تصویر از سیاهچاله در طول تاریخ علم بشر تلقی می‌شود.

ابر سیاهچاله‌های دوگانه:

آنچه از مشاهدات و نظریه‌ها بر می‌آید این است که در بعضی از کهکشانها حرکت‌ها ی مشاهده شده ستاره‌ها و خوشه‌ها ی ستاره‌ای با فرض وجود تنها یک ابر سیاهچاله پر جرم در مرکز کهکشان قابل توضیح نیست.

از این منظر دانشمندان فرضیه وجود ابر سیاهچاله دو یا چندتائی را مطرح کردند و به مدل سازی در مورد آن پرداختند.

اکنون گمان می‌رود بعضی از کهکشان‌ها مثل کهکشان $4+37C/11$ یا $(4+37C/9)$ دو سیاهچاله ابرپرجرم در مرکزشان داشته باشند که سامانه دوتایی تشکیل می‌دهند $4+37C/11$ کهکشان رادیویی و بیضوی بزرگی است که سیاهچاله دوتائی مرکز آن با فاصله ۲۴ سال نوری و دوره تناوب

فیزیک سیاهچاله‌ها* ۱۲۵

۱۵۰۰۰ سال، کمترین جدائی زاویه مشاهده شده برای یک جسم دوتایی از این نوع را تا سال ۲۰۰۶/۱۳۸۵ داشته اند.

از مشاهدات این گونه بر می آید کهکشان ۲۸۷۰J نیز در فاصله ۳/۵ میلیارد سال نوری میزبان سیاهچاله‌ای دوتایی پر جرم است که دوره تناوب گردش مؤلفه‌های آن فقط ۱۲ سال است!

سیاهچاله‌های ابرپر جرم دوتایی نتیجه روشنی از برخورد و ادغام کهکشانها هستند.

اما در برخورد بین کهکشانها برخورد مستقیم بین ستاره‌ها و سایر اجرام درون دو کهکشان رخ نمی‌دهد در این مرحله از ادغام کهکشانها، سیاهچاله‌ها فقط اندرکنش گرانشی دارند و بعد از آن تا میلیون‌ها سال به حرکت حول مرکز جرم مشترک ادامه می‌دهند. رفته رفته شعاع این حرکت کوتاه و دوره تناوب کمتر و سرعت حرکت بیشتر می‌شود در این وضعیت احتمال دارد سیاهچاله‌ها برخورد کنند و اگر این حادثه روی دهد امواج گرانشی قوی ایجاد می‌شود.

ابر سیاهچاله‌های سنگین تر

با پیشرفت و بهبود عملکرد تلسکوپ‌ها و ابزارهای آشکار ساز در طول موج‌های مختلف افق دید دانشمندان گسترده تر می‌شود و می‌توانند با دقت و اطمینان بیشتری عالم را بکاوند.

یکی از پر جرمترین ابر سیاهچاله‌ها که تا کنون شناسایی شده در کهکشان عدسی شکل و فشرده VNGC۱۲ در فاصله ۲۲۰ میلیون سال نوری در صورت فلکی برساوش قرار دارد.

ستاره شناسان با استفاده از تلسکوپ‌های بی - ارلی در رصدخانه مک دونالد تگزاس، جرم آن را برابر با ۱۷ میلیارد برابر جرم خورشید برآورد کرده‌اند

به گفته ستاره شناسان این سیاهچاله چیزی حدود ۵۹ درصد جرم برآمدگی مرکز کهکشان را در خود جای داده است.

این مقدار ۱۴ درصد جرم کل ستاره‌ها ی موجود در کهکشان است، بسیاری از سیاهچاله‌ها ابرپرجرم چیزی بیش از 10^6 درصد جرم کهکشان میزبان شان را ندارند، علاوه بر آن بسیاری از سیاهچاله‌ها ی غیر عادی از این نوع در کهکشان‌ها ی بیضوی عظیم مشاهده شده اند. بنابراین ویژگی‌ها ی نامعمول این کهکشان و سیاهچاله ابرپرجرم آن چندان با مدل امروزی تحول کهکشان‌ها مطابقت ندارد و لزوم ایجاد و پیشنهاد مدل‌ها ی بهتر و جایگزینی در این زمینه را یادآوری می‌کند.

باز هم پرجرم‌تر

در ۱۴ آذر ۱۳۹۰ / ۵ دسامبر ۲۰۱۱ ستاره شناسان سیاهچاله‌ای را کشف کردند که بزرگترین سیاهچاله ابرپرجرم بود.

این سیاهچاله با جرمی معادل ۲۱ میلیارد برابر خورشید در کهکشان NGC ۴۸۸۹ در فاصله ۳۳۶ میلیون سال نوری در صورت فلکی گیسو قرار دارد. NGC ۴۸۸۹ که به نام کلادول ۳۵

(Caldwell ۳) نیز شناخته می‌شود.

کهکشان بیضوی غول پیکر با قدر ظاهری ۱۱/۴ و درخشان‌ترین نمونه در خوشه کهکشانی گیسو است که در نزدیکی قطب شمال کهکشانی واقع است.

کششی حیرت انگیز

در پاییز ۱۳۹۱ ستاره شناسان با استفاده از تلسکوپ‌ها بل تصویری از یک کهکشان بیضوی غول آسا به نام $17\text{MASXJ}1722271+3207571$ یا (BCG۲۲۶۱A-) تهیه کردند هسته آن بزرگتر از هسته همه کهکشانهای بود که قبلاً دیده بودند.

BCG۲۲۶۱A- (کوتاه شده عبارت ۲۲۶۱Abell Brightest Cluster Galaxy)

کهکشانی است در فاصله ۳ میلیارد سال نوری و کمی بیش از یک میلیون سال نوری (۱۰ برابر راه شیری) درازا دارد و بزرگترین و درخشانترین کهکشان در خوشه کهکشان آبل (۲۲۶۱Abell) است.

هم چنین یکی از اعضای گروهی از کهکشان‌ها با طبقه بندی غیرعادی است که‌ها له‌ای گسترده و پخش دارند و هیچ تمرکزی از روشنایی در مرکزشان دیده نمی‌شود. اندازه گیری‌ها وسعت ناحیه مرکز آن را ۱۰۰۰۰ سال نوری نشان می‌دهد.

کهکشانی با هسته‌ای نامعمول:

به طور معمول اندازه هسته به ابعاد خود کهکشان بستگی دارد، اما در خصوص کهکشان نو یافته گسترده‌گی هسته بسیار بیشتر از مقداری است که ستاره شناسان برای کهکشان با این اندازه انتظار دارند، هسته آن دست کم سه مرتبه بزرگتر از هسته کهکشان‌ها ی مشابه است.

ستاره شناسان دو امکان مختلف برای توضیح این وضعیت در نظر می‌گیرند در یک دیدگاه اینگونه فرض می‌شود که دو سیاهچاله‌ای سنگین در نزدیکی مرکز این کهکشان واقع‌اند که در حال ادغام و یکی شدن هستند در اثر این فرایند سیاهچاله‌ها با هم زدن دیگر قسمت‌ها ی پر از ستاره‌ها ی کوچک و بزرگ آن‌ها را پراکنده و از هم دور می‌کند و سبب می‌شوند توده‌ای متمرکز از ستاره‌ها شکل نگیرد.

کهکشانی بدون سیاهچاله ابرپر جرم

به یافته‌ها ی حیرت انگیز پیشین در مورد سیاهچاله‌ها و کهکشان میزبان این مورد را هم اضافه کنید به احتمال زیاد کهکشان‌ها یی عظیمی وجود دارند که سیاهچاله مرکزی ندارند.

داده‌ها ی حاصل از کهکشان نویافته به این معنی است که این کهکشان عظیم الجثه فاقد سیاهچاله‌ای ابرپرچرم مرکزی است. دست کم سیاهچاله‌ای موجود در آن ساختار و رفتاری دارد که با آن چه دانشمندان در گذشته دیده‌اند متفاوت است.

بهترین توضیحی که در این باره وجود دارد این است که کهکشان فوق دارای دو سیاهچاله پر جرم بوده که به دور هم می‌گشتند.

یکی از سیاهچاله‌ها از همان آغاز در کهکشان بیضوی بزرگ، هم نوع کوچک ترش را بلعیده و بر جرمش اضافه شده است. در اثر گردش این دو سیاهچاله به دور هم طی فرایندی مشابه قلاب سنگ، ستاره‌ها از مرکز کهکشان به نواحی دورتر پرتاب شده و هر پرتاب منجر به از دست رفتن مقداری از اندازه حرکت زاویه‌ای سیاهچاله‌ها بوده است و این سبب شده دو سیاهچاله بیش از پیش به هم نزدیک شوند.

اگر این روند درست باشد ادامه آن به ادغام سیاهچاله‌ها می‌انجامد، در نهایت بعد از سپری شدن زمان کافی کهکشان، صاحب سیاهچاله‌ای ابرپرچرم خواهد شد، با این قیمت که همه ستارگان خود را در این مدت از مرکز پراکنده و دور کرده و تنها باقی مانده است. یعنی ستاره‌ها یک طرف قرار گرفته و ما آنها را به صورت کهکشانی بدون سیاهچاله می‌بینیم و خود سیاهچاله در سویی دیگر، سوال این است که آیا سیاهچاله ابرپرچرم می‌تواند دوباره ستاره‌ها را به سوی خود جلب کند و کانون برآمدگی مرکزی کهکشانی شود؟

ایده جالب دیگری هم مطرح است که با وجود بعید بودن و کمی خوش بینانه بودن ممکن است توضیح دهنده اتفاقات رخ داده در این کهکشان باشد. طبق نظریه نسبیت عام، سیاهچاله‌ها ی در حال ادغام که به دور هم می‌چرخند موج گرانشی تابش می‌کنند.

این امواج را می‌توان به شکل چین و چروک‌های ساختار فضا - زمان تصور کرد، اگر جرم دو سیاهچاله یکسان نباشد خروجی امواج گرانشی در جهت‌های مختلف یکسان نخواهد بود و انرژی بیشتری در یک راستای خاص از سامانه خارج می‌شود.

این پدیده نوعی فشار رانشی ایجاد می‌کند که می‌تواند مجموعه سیاهچاله‌ها را با سرعتی از مرتبه چندین میلیون کیلومتر بر ساعت از مکان اصلی خودشان در مرکز کهکشان دور کند.

در ادامه خوب است به متن سخنرانی اندرباگز در مورد اثبات وجود سیاهچاله‌های بزرگ در مرکز کهکشانها اشاره کنیم؟

اثبات وجود سیاهچاله‌های بزرگ در مرکز کهکشانها؟

چگونه می‌توانید چیزی که نامریی است را مشاهده کنید؟ این سوالی اساسی برای افرادی به شمار می‌رود که علاقه آنها پیدا کردن و مطالعه سیاهچاله‌ها است چرا که سیاهچاله‌ها اجرامی هستند که نیروی گرانش فوق‌العاده بالایی دارند. نیروی که اجازه نمی‌دهد هیچ چیز، حتی نور از دام آن فرار کند. به همین دلیل شما نمی‌توانید آنها را مستقیماً ببینید.

خوب، داستان این متن درباره سیاهچاله‌ها، به یک نوع سیاهچاله خاص مربوط می‌شود. می‌خواهیم به این پرسش پاسخ دهیم که بالاخره آیا یک سیاهچاله واقعاً پرچرم، از نوعی که ما به آن سیاهچاله ابرپرچرم می‌گوییم، در مرکز کهکشان ما وجود دارد یا نه؟ و دلیلی که این موضوع را هیجان‌انگیز و جالب می‌کند این است که این کار به ما فرصتی می‌دهد تا ببینیم که آیا این چنین اجرامی واقعاً وجود دارند یا خیر؟ و دیگر اینکه فرصتی در اختیار ما می‌گذارد که بفهمیم چنین سیاهچاله ابر پرچرمی چگونه با محیط اطرافش اندرکنش دارد و بفهمیم که این سیاهچاله‌ها

چگونه در شکل‌گیری و تحول کهکشانی که درون آن رشد می‌کنند تأثیر می‌گذارند

خوب برای شروع اول باید بفهمیم یک سیاهچاله چیست؟ تا بتوانیم مدارک وجود آن را درک کنیم خوب، یک سیاهچاله چیست؟ از بسیاری جهات، یک سیاهچاله جسم واقعا ساده‌ای است. چرا که شما می‌توانید یک سیاهچاله را تنها با ۳ مشخصه تعریف کنید جرم، چرخش و بار الکتریکی ولی قصد داریم فقط درباره جرم آن صحبت کنیم خوب، با چنین بیانی، سیاهچاله جرمی، بسیار ساده‌ای است اما از سوی دیگر جرمی بسیار پیچیده تر نیز هست. آن قدر که برای توصیف آن به قوانین عجیب و غریب فیزیک نیازمندیم و حتی در برخی از موارد این جرم درک فیزیکی ما از عالم را به چالش می‌کشد.

اما امروز روشی که از شما می‌خواهم به کمک آن یک سیاهچاله را درک کنید برای اثبات یک سیاهچاله، این است این جرم را شیئی در نظر بگیرید که جرمش در حجمی تقریباً معادل صفر متمرکز شده باشد. خوب، با وجود اینکه من دارم با شما درباره جسمی ابرپر جرم صحبت می‌کنم اما در عین حال دارم به این نتیجه می‌رسم که این جرم فاقد اندازه است. خوب به نظر کمی نیرینگ آمیز می‌آید.

اما خوشبختانه یک اندازه مشخص در ارتباط با این اجرام وجود دارد که قابل دیدن است و آن را به نام شعاع شوارزشیلد می‌شناسیم نام این شعاع به فردی برمی‌گردد که این مفهوم را ارائه کرد چرا این شعاع عدد مهمی است؟ این یک شعاع مجازی است و واقعی نیست. سیاهچاله‌ها اندازه‌ای ندارند پس چرا این موضوع مهم است. اهمیت این عدد در این است که به ما می‌گوید، که هر جسمی می‌تواند به سیاهچاله تبدیل شود

یعنی خود شما، نفر بغل دستی، گوشی تلفن همراه، و حتی خانه شما می‌توانند تبدیل به سیاهچاله شوند به شرط آنکه راهی را پیدا کنید که بتوانید آنها را آن قدر فشرده کنید که همه جرم آنها در عدد شعاع شوارزشیلدشان جمع شود.

خوب در آن نقطه چه اتفاقی می‌افتد؟ در آن نقطه است که گرانش پیروز می‌شود گرانش بر همه نیروهای شناخته شده دیگر برتری می‌یابد و شیئی مورد نظر ناچار آن قدر به رمبش خود ادامه می‌دهد تا به جرمی بی‌نهایت کوچک تبدیل شود و در این مرحله یک سیاهچاله خواهیم داشت. خوب اگر من سیاره زمین را به اندازه یک حبه قند کوچک کنم به سیاهچاله تبدیل می‌شود چرا که اندازه این قند معادل شعاع شوارزشیلد سیاره زمین است.

اکنون نکته کلیدی این است که ببینیم این شعاع شوارزشیلد چیست؟ و در واقع درک این موضوع بسیار ساده است و تنها وابسته به جرم یک جسم است اجرام بزرگتر و چگال تر شعاع شوارزشیلد بزرگتری دارند و اجرام کوچکتر شعاع کوچکتری دارند بنابراین اگر من خورشید را انتخاب کنم و آن را تا ابعاد محوطه دانشگاه آکسفورد فشرده سازم به یک سیاهچاله تبدیل خواهد شد

حالا می‌دانیم شعاع شوارزشیلد چیست و انصافاً این مفهوم کارآمدی است چرا که نه تنها به ما می‌گوید کی یک سیاهچاله شکل می‌گیرد که عناصر کلیدی مورد نیاز برای اثبات وجود یک سیاهچاله را در اختیارمان می‌گذارد ما فقط دو چیز احتیاج داریم باید جرم جسمی را که ادعا می‌کنم یک سیاهچاله است را بدانم و اینکه شعاع شوارزشیلد آن چقدر است و از آنجایی که جرم تعیین کننده شعاع شوارزشیلد است پس در واقع تنها یک چیز وجود دارد که لازم است واقعا بدانم

بنابراین کار ما برای اینکه شما را قانع کنیم که سیاهچاله‌ای وجود دارد این است که نشان دهیم جرمی وجود دارد که می‌تواند درون شعاع شوارزشیلدش محدود شده باشد و کار شما امروز این است در این باره زودباور نباشید.

خوب می‌خواهم درباره یک سیاهچاله غیرعادی صحبت کنم درباره سیاهچاله‌ای ابرپرجرم.

حالا چند کلمه‌ای درباره یک سیاهچاله معمولی صحبت کنم البته اگر چیزی به نام سیاهچاله معمولی وجود داشته باشد یک سیاهچاله معمولی را آخرین مرحله زندگی یک ستاره واقعا پر جرم در نظر می‌گیرند بنابراین اگر ستاره‌ای در آغاز زندگی جرمی بسیار بیش از جرم خورشید ما داشته باشد عمرش را با انفجاری بزرگ و باقی گذاشتن چنین بقایای ابر نواختری زیبایی به پایان می‌رساند و درون آن بقایای ابرنواختری سیاهچاله کوچکی شکل می‌گیرد که جرمی معادل ۳ برابر جرم خورشید دارد در مقیاس‌ها ی نجومی این سیاهچاله‌های بسیار کوچک به حساب می‌آید.

حالا می‌خواهم درباره سیاهچاله‌ها ی ابرپرجرم صحبت کنیم حدس زده می‌شود که سیاهچاله‌ها ی ابرپرجرم در مرکز کهکشان‌ها زندگی می‌کنند

تصاویر بسیار زیبا که توسط تلسکوپ فضایی‌ها بل گرفته شده است، کهکشان‌هایی در اشکال و اندازه‌ها ی مختلف را نشان می‌دهد نمونه‌ها ی بسیار بزرگ و کوچک آنها در عکس‌ها وجود دارند بعضی از این کهکشانها مارپیچی و بسیار زیبا هستند که از حدود ۱۰۰ میلیارد ستاره تشکیل شده اند. تمام نورهایی که ما از یک کهکشان معمول می‌بینیم از ستاره‌ها ی کهکشانها منشا می‌گیرد بنابراین ما یک کهکشان را به دلیل نور ستاره‌ها ی آن می‌بینیم

عده‌ای از کهکشانها وجود دارند که ما آنها را در رشته کهکشانهای با هسته‌های فعال کهکشانی می‌نامیم چرا که هسته‌ها ی آنها یا مراکز آنها بسیار فعال هستند خوب در مرکز آنها که در حقیقت جایی است که درخشانترین بخش کهکشان است به طوریکه ما در آنجا فقط نور می‌بینیم. اما این مقدار نور نمی‌تواند فقط با کمک مجموع نور ستاره‌ها ی آن منطقه توجیه شود.

آنجا به نوعی خیلی پر انرژی تر از این حرف‌ها است در حقیقت در برخی از نمونه‌ها، ستون‌ها ی از جت مواد از مرکز آنها به خارج کشیده شده است نشانه‌هایی از یک منبع انرژیست که با این فرض که کهکشان‌ها فقط از ستاره‌ها تشکیل شده اند، توضیح آن بسیار دشوار خواهد شد

این همان جایی است که برخی فکر می‌کنند شاید سیاهچاله‌ای ابرپرچرم در آن وجود داشته باشد جایی که مواد به درون آن فرو می‌ریزند خوب شما خود سیاهچاله را نمی‌توانید ببینید اما شما می‌توانید انرژی گرانشی سیاهچاله را به نور مری که قابل دیدن است تبدیل کنید بنابراین این حدس وجود دارد که شاید سیاهچاله‌ای ابرپرچرم در مرکز کهکشان‌ها وجود داشته باشد اما این نوعی استدلال غیرمستقیم است

اما با این وجود این مساله، این موضوع را مطرح می‌کنند که شاید تنها این نوع کهکشانها نباشند که ابر سیاهچاله‌ای درون خود دارند بلکه شاید همه سیاهچاله‌ها، میزبان چنین ابر سیاهچاله‌هایی در قلب خود باشند و در این صورت سوال این است که چرا نمونه‌هایی از کهکشانهای معمولی وجود دارد که چیزی جز نور ستاره‌ها ی معمولی در آن دیده نمی‌شود پس سیاهچاله ابر پر جرم درون آن چه می‌کند؟

شاید این سیاهچاله‌ها در نوعی رژیم غذایی به سر می‌برد چرا که این تنها راهی است که بتوان مانع از فعالیت عظیم ابر سیاهچاله‌ها در قلب کهکشان باشد.

اگر قرار باشد به دنبال چنین سیاهچاله‌های پنهانی در مرکز کهکشان‌ها باشیم بهترین جایی که می‌توانیم به آن نگاه کنیم، کهکشان خودمان، راه شیری است اگر یک تصویر میدان دید باز که از مرکز کهکشان راه شیری بگیرید، چیزی که می‌بینید ستونی از ستاره‌ها است و این به خاطر این است که ما در کهکشانی زندگی می‌کنیم که ساختاری تخت و قرص مانند دارد و ما در کناره آن قرار داریم و هنگامی که به سوی مرکز کهکشان نگاه می‌کنیم این صفحه را که به نام صفحه کهکشان می‌شناسیم می‌بینیم و یا خطی که صفحه کهکشان را تعریف می‌کند

مزیت مطالعه کهکشان خودمان در این مورد به سادگی به این دلیل بر می‌گردد که نزدیکترین مثال از یک مرکز کهکشان است که در اطراف خودمان داریم، چرا که نخستین کهکشان نزدیک بعدی ۱۰۰ برابر دورتر از ما قرار دارد بنابراین ما می‌توانیم جزئیات بیشتری در کهکشان خودمان نسبت به هر کهکشان دیگری ببینیم و همانطور که خواهید دید توانایی دیدن جزئیات، کلیدی برای این تجربه و آزمایش است

دانشمندان چطور مشخص می‌کنند که جرم بسیار زیادی در آنجا وجود دارد که در حجم اندکی گرد آمده‌اند؟

ابزاری که برای این کار استفاده می‌کنیم نگاه کردن به ستاره‌هایی است که در اطراف این سیاهچاله می‌گردند ستاره‌ها به همان روشی دور یک سیاهچاله می‌گردند که سیارات، خورشید را دور می‌زنند.

این کشش گرانشی است که باعث گردش چیزی در یک مدار می‌شود اگر جسم پر جرمی وجود نداشته باشد این اجرام به مسیر خود ادامه می‌دهند

دادند و یا حداقل سرعت حرکت بسیار پایین تری می‌داشتند تنها چیزی که نحوه حرکت این اجرام را تعیین می‌کند این است که چه مقدار جرم در مرکز مدار این اجرام قرار دارد

اگر بدانیم این اجرام چقدر سریع حرکت می‌کنند، جرم را نیز خواهیم دانست و اگر مقیاسی از مدارها داشته باشیم، شعاع آنها را خواهیم داشت ما می‌خواهیم ستاره‌ها یی را ببینیم که تا حد امکان به مرکز کهکشان ما نزدیک باشند چرا که می‌خواهیم نشان دهیم جرمی در فضای تا حد ممکن کوچکی وجود دارد.

خوب، این بدین معنی است که می‌خواهیم جزییات زیادی را در این ناحیه ببینیم و این همان دلیلی است که برای این تجربه و آزمایش ما از بزرگترین تلسکوپ جهان استفاده می‌کنیم

یکی از این رصدخانه‌ها ی مطلوب رصدخانه کک است، این رصدخانه دو تلسکوپ دارد که هر یک از آنها آینه‌ای با قطر تقریبی ۱۰ متر دارند قطری معادل عرض یک زمین تنیس.

خوب، این خیلی عالیه چرا که ویژگی مهم وعده داده شده درباره تلسکوپ‌ها ی بزرگ این است که هر چه تلسکوپ بزرگتر باشد جزییات بیشتری را می‌توانیم ببینیم.

اما زمانی که درباره این تلسکوپ‌ها یا هر تلسکوپ دیگری روی زمین صحبت می‌کنیم چالشی در برابر آن سر بلند می‌کند و این چالش به دلیل وجود جو زمین است جو برای ما بسیار عالی است به ما اجازه می‌دهد که روی زمین زنده بمانیم و به بقای خود ادامه دهیم اما جو برای منجمان به نوعی، چالش به حساب می‌آید

خوب برای اینکه درکی از موضع داشته باشید که این مورد شبیه چیست باید بگویم واقعا این شبیه آن است که به دانه شنی در زیر جریان آب نگاه کنید

به دانه شنی در زیر جریان آب مثلا رودخانه نگاه می‌کنید این جریان آب به طور مداوم حرکت می‌کند و دچار اغتشاش می‌شود و همین مساله دیدن آن دانه شنی را در بستر رودخانه با مشکل مواجه می‌کند خوب در مورد جو زمین نیز داستان خیلی شبیه به این موضوع و خیلی دشوار است زمانی که به منابع نجومی نگاه می‌کنید، ار آنجا که جو ما به طور دائم در حال حرکت است با مشکلاتی دست به گریبان هستیم هرچند توانسته‌اند با روشهایی تاثیر جو را اصلاح کرده و دید تمیز تری در اختیار ما قرار دهند و این کار باعث می‌شود به کیفیتی ۲۰ برابر بهتر آنچه هست برسیم.

برای این کار از تکنیک‌هایی استفاده می‌کنیم که با آن تکنیک‌ها می‌توانیم نور اثران جو را تا حد زیادی اصلاح کنیم.

تقریبا هر ستاره‌شناسی یک ستاره محبوب دارد و ستاره محبوب امروز من ستاره‌ای است که اینجا به نام -۲SO مشخص شده است به طور قطع محبوب ترین ستاره من در تمام جهان و علتش هم این است که هر ۱۵ سال یک دور به گرد کهکشان می‌زند و برای اینکه به شما درکی از میزان اندکی این مقدار بدهم برای خورشید ما ۲۰۰ میلیون سال طول می‌کشد تا به یک دور حول مرکز کهکشانمان بچرخد و یا ستاره‌ها یی که پیش از این درباره آنها صحبت کردیم و تا حد امکان به مرکز کهکشان نزدیک بودند حدود ۵۰۰ سال گردششان طول می‌کشد و لی این ستاره فقط ۱۵ سال یعنی در طول مدت زندگی یک نفر این کار را می‌کند به نوعی می‌شود گفت این ستاره در عمق کهکشان قرار گرفته است

این ستاره برای آزمون ما عنصری کلیدی به شمار می‌رود. مدارش به ما می‌گوید که چه میزان جرم عامل این مدار برای ستاره شده است.

پیش از اینکه این ستاره را رصد کنیم تخمینی که از جرم سیاهچاله مرکز کهکشان داشتیم حدود ۴ میلیون برابر خورشید بود که البته رصدهای اخیر هم همین را تأیید می‌کند با این تفاوت که در جایی بسیار کوچکتر واقع شده است در واقع ۱۰ هزار برابر کوچکتر و این در واقع نشان دهنده سیاهچاله ابرپرجرمی در مرکز کهکشان خودمان است

اما آنچه جالب توجه است این است که مسائلی اسرارآمیز در اطراف این سیاهچاله وجود دارد که با حدس و گمانهای ما جور در نمی‌آید یکی از گمانهای ما این است که در اطراف سیاهچاله‌ها باید ستارگانی پیر و سالخورده وجود داشته باشند و در طول زمان به گرد سیاهچاله بگردند، چه انتظاری از ستاره‌های سالخورده دارید، ستاره‌هایی که به دور مرکز کهکشان برای مدتی طولانی چرخیده‌اند و زمان طولانی برای واکنش با سیاهچاله مرکزی در اختیار داشته‌اند؟ چیزی که شما از این ستاره‌های پیر انتظار دارید این است که در اطراف سیاهچاله به صورتی فشرده قرار گرفته باشند شما باید تعداد زیادی ستاره سالخورده را درست در کنار سیاهچاله ببینید.

پس ستاره‌های جوان نباید آنجا باشند چرا که یک سیاهچاله نمی‌تواند همسایه مهربانی برای یک پرورشگاه ستاره‌ای باشد.

برای اینکه ستاره‌ای شکل بگیرد، شما نیازمند سحابی بزرگی از گاز و غبار هستید تا متراکم شوند و این ساختاری بسیار شکننده است و یک سیاهچاله بسیار بزرگ چه بر سر این سحابی خواهد آورد کار میکند؟ سحابی گازی شما را تکه پاره می‌کند و بر بخشی که به خودش نزدیکتر

است نیروی بیشتری وارد می‌کند و ابر از هم می‌پاشد در حقیقت ما انتظار داریم تولد ستاره‌ها نباید در این فضا رخ بدهد

اما رصدها به ما چه می‌گویند آیا نظر ما را تایید می‌کنند؟ شاید این سوال به ذهنتان بیاید که با رصدها چگونه تشخیص دهیم که کدام ستاره پیر و کدام جوان است؟

خوب معمولاً پیرترها قرمزند جوانترها آبی رنگند. و زرد رنگ‌ها راهنوز نمی‌دانیم.

خوب، اما رصدها نشان می‌دهند علی‌رغم انتظار در اطراف سیاهچاله مرکزی ستاره‌های پیر نابابند ولی توده فراوانی از ستاره‌های جوان در آنجا وجود دارند که دقیقاً بر خلاف انتظار ما است و برای رسیدن به جواب این معما دانشجویان زیادی در حال پژوهش هستند، و تکنیک‌های زیادی را هم برای بهینه کردن رصدهای اعماق آسمان تست می‌کنیم که تا حد الامکان تترات ناشی از جو را حذف و تصاویر واضح‌تری از ستارگان نزدیکتر به مرکز کهکشان ببینیم.



نظریه سفیدچاله‌ها اجرامی در مقابل سیاهچاله‌ها

سفیدچاله‌ها اجرامی در مقابل سیاهچاله‌ها

برای پرداختن به مساله سفیدچاله‌ها لازم است که نگاهی به عرصه کهکشانها در آسمان بیاندازیم، همان طور که می‌دانید در نجوم گذشته اجرام غیر ستاره‌ای موسوم به سحابی‌ها در رصدهای منجمان مورد رصد قرار گرفته و در کاتالوگ‌های نجومی بدانها اشاره شده بود.

از جمله سحابی‌های بی نظیر سحابی آندرومدا یا سحابی البکری که بعدها به ابرهای ماژلان معروف شد که توسط عبدالرحمن صوفی رازی دانشمند سده سوم هجری کشف شد ووی آنها را در کتاب صور الکواکب الثابتة ثبت نموده است.

بعدها به این مجموع سحابی‌های دیگر نیز افزوده شد و با کشف تلسکوپ تعداد آنها باز هم رو به فزونی گذاشت.

بعدها متوجه شدند که این سحابیها را باید به دو دسته تقسیم بندی کرد عده‌ای سحابی‌های بی بودند که داخل کهکشان ما بودند که اعم از ابرهای میان ستاره‌ای یا بقایای انفجارات نواختری بودند و دسته‌ای دیگر مثل سحابی امرة المسلسله یا M_{87} که ظاهری متفاوت تر داشتند و رده‌های طیفی خاص منتشر می‌کردند عده‌ای اعتقاد داشتند که این عده اصلاً در

کهکشان ما قرار ندارند بلکه خود آنها کهکشانهایی مثل کهکشانهای ما در فاصله‌های بسیار دور هستند.

تا اینکه روشی به نام روش متغیرهای قیفاووسی برای سنجش مسافت در نجوم ارائه شد که بر طبق این روش متغیرهایی با رده طیفی خاص که به متغیرهای قیفاووسی بودند کشف شدند از جمله خصائص این متغیرها این بود که دوره تناوب آنها با قدر مطلق درخشندگی آنها رابطه داشت هر قدر پریود طولانی تری داشتند درخشندگی بیشتری دارند و آن دسته که پریود کوتاهتری دارند دارای قدر مطلق کمتری بودند.

با این روش با پیدا کردن این قیفاووسی‌ها در درون کهکشان‌ها و بررسی دوره تناوب آنها می‌توانستند بدانند که قدر مطلق آنها چقدر است با بررسی شدت تابش آنها می‌توانستند که فاصله را تخمین بزنند.

همان طور که اگر چنانچه شما مقدار درخشندگی واقعی یک لامپ را داشته باشید و قانون کاهش شدت تابش با توجه به بعد مسافت را بدانید از روی سنجش مقدار دریافتی نور لامپ می‌توانید فاصله لامپ را تا خود تخمین بزنید.

به هر حال با این تکنیک متوجه شدند که بله عده‌ای از این سحابی‌ها در عرصه کهکشان راه شیری نیستند بلکه بسیار دورتر قرار دارند که به آنها کهکشان گفتند.

ادوین هابل که روی این گونه سحابی‌ها کار می‌کرد متوجه شد که این کهکشانها از نظر شکلی متفاوت هستند و هر چه که آنها دورتر باشند گرایش به قرمز بیشتری در طیف آنها مشاهده می‌شود.

بعد ازها هابل نیز کار روی کهکشانها ادامه داشت تا اینکه تکنیک ویژه‌ای به مدد علم آمد و آن تکنیک رادیو تلسکوپ‌ها بود.

در سالهای ۱۹۵۰ مشخص شده بود که امواج رادیویی به سوی زمین می‌آیند که منشاء سماوی دارند با پیشرفت ادوات الکترونیکی و مخابراتی در خلال جنگ جهانی دوم علی‌رغم آنکه مدتی کاوش در اجرام رادیویی فضایی را به دلیل جنگ به تعویق انداخت ولی بعد از جنگ جهانی دوم دانشمندان علاقمند شدند که رادیو تلسکوپ‌های مجهزی را فراهم آورند و اقصى نقاط فضا را در جهت پیدا کردن اجرام خارق العاده فضائی جاروب کنند و در این رهگذر منابع زیادی را در باند رادیویی پیدا کردند که اغلب در اطراف فضاهاى وسیع انفجارات نواختری و منابع گازی تحت تاثیر میادین مغناطیسی رصد می‌شدند که با حرکت اجرام باردار در اطراف میدان‌هاى مغناطیسی ناشی از محیط‌هاى پلازما و با گازهای یونیزه به وجود می‌آمدند.

اغلب این منابع، منابع گسترده بودند که می‌توانستند انرژی لازم جهت گسیل فرکانس‌هاى عظیم رادیویی جهت ردیابی رادیو تلسکوپ‌ها را به وجود آورند.

اما در دسته‌هاى این منابع رادیویی، منابع رادیویی ویژه‌ای نظرها را به خود جلب می‌کرد، که به نظر منابع غیر گسترده و نقطه‌ای می‌آمدند که حتی ماه می‌توانست روی آنها را بپوشاند و برای آنها سایه ایجاد کند مثل جرم $3CZ73$ که به طور اسرارآمیزی امواج رادیویی با حضور ماه به طور کلی قطع شد که این دلیل بر وجود منبع نقطه‌ای پرازیت رادیویی است.

در این محل یک ستاره آبی رنگ از قدر ۱۲/۶ قرار داشت وقتی طیف نوری این ستاره مورد ارزیابی قرار گرفت، طیفش به گونه‌ای بود که قابل شناسایی نبود تا سال ۱۹۳۶ در سه ناحیه دیگر در فضا چنین اجرامی رصد شدند ستاره‌هاى آبی رنگ که از خود طیف وسیعی از امواج رادیویی گسیل

می‌کردند و در همه موارد طیف آنها قابل شناسایی نبود که به آنها شبه ستاره یا کوازار گفته می‌شد.

در بررسی‌ها ی که روی طیف این کوازارها صورت می‌گرفت، آنچه مشهود بود آن بود که گرایش به قرمز بزرگی در طیف آنها دیده می‌شود که تا به حال برای هیچ جرمی اندازه‌گیری نشده بود، این گرایش به قرمز از دو حالت خارج نبود یا آنکه می‌بایست طبق قرمزگرایی‌ها بلی تعریف شود که در این صورت این اجرام بسیار دور و با سرعت نزدیک به سرعت نور در حال فرار بودند که تامین انرژی آنها از عهده توضیح فیزیک معاصر خارج است، انرژی فوق العاده زیادی که پس میلیاردها سال نوری به ما رسیده و رصد شده، انرژی غیرقابل تصویری است و یا اینکه این قرمزگرایی را بر عهده گرانش قرار دهیم که چنین گرانشی راه را به سوی سیاهچاله می‌کشد و وجود این طیف گسترده و درخشان از آن بعید است.

پس می‌بایست هنوز پیرامون این اختروش‌ها پژوهشهایی صورت می‌گرفت، یکی از ایده‌هایی که مطرح شد در مورد سری خاصی از کهکشانها بود که به کهکشانهای انفجاری موسوم بودند این نوع کهکشانها معمولاً به صورت دمیلی شکل در می‌آمدند یعنی هسته‌ای فعال در مرکز و دو حالت کهکشانهای در طیف‌های رادیویی در دو طرف و یا چهار طرف خود تشکیل می‌دادند.

عده‌ای از دانشمندان اعتقاد داشتند که ممکن است که کوازارها از این کهکشانهای انفجاری نشأت گرفته باشند.

که البته اگر کوازاری می‌خواست حاصل انفجاری در راستای دید ما باشد علاوه بر کوازارهایی که مشاهده می‌شوند که دارای گرایش به قرمز فوق العاده هستند می‌بایست کوازارهایی کشف می‌شدند که دارای گرایش به آبی فوق العاده زیادی باشند، که البته چنین اجرامی کشف نشدند.

در کاوش رصدگران ستاره‌شناسی به نام سیرفت گونه خاصی از کهکشانش را کشف کرد که دارای هسته‌ای فوق العاده فعال بودند و رده طیفی آنها بین کوازارها و کهکشانهای عادی بود و این کشف عده‌ای از اخترشناسان را به این ایده نزدیک کرد که شاید کوازارها در اصل بیس‌ها و اساس کهکشانش بودند که به تدریج به کهکشانهای سیرفت و سپس به کهکشانهای عادی تبدیل شده باشند.

اما این ایده هم با چالش جدی مواجه شد چرا که در خوشه‌های کهکشانی که عمر متوسط کهکشان‌ها و قرمزگرائی آنها قابل تخمین است، کوازارها رصد می‌شدند و علاوه بر کوازارها در بعضی از کهکشانهای دیگر در یک خوشه کهکشانی نیز با چنین قرمز گرائی‌ها یی روبرو بودیم که توجیهی در خور درباره آنها ارائه نشده بود.

تا اینکه در اوایل دهه ۱۹۷۰ هویل و ناریکار از موسسه ستاره‌شناسی نظری در دانشگاه کمبریج موفق شدند مجدداً نسبیت عام را به طور کامل بسط داده و فرموله کنند در نظریه آنها در هسته کهکشانهای انفجاری ماده خلق می‌شود که به آن به اصطلاح سفیدچاله گفته می‌شود.

در سفیدچاله علی‌رغم تعریف سیاهچاله که در آن افق رویدادی تعریف می‌شد که اگر ماده به داخل آن وارد می‌شد توان بیرون آمدن نداشت در افق رویداد در سفید چاله اگر ماده به بیرون تراود دیگر به درون آن نمی‌تواند بازگردد.

ماده‌ای که از این سفیدچاله به بیرون می‌آید طیفش دارای قرمزگرائی زیادی می‌باشد و از لحاظ جرمی هم دارای جرمی متفاوتی با سایر ذرات است به تدریج که وارد جهان می‌شود قرمزگرائی طیف آن کم و جرم به حالت عادی نزدیک می‌شود، پس طبق این نظریه ماده خواه تازه متولد شده خواه از کرم چاله از جهان دیگر به طیف جهان ما سرازیر شود، نخست به

صورت کوازارهای فشرده با قرمزگرایی زیاد با سفیدچاله ظهور می‌کند سپس کوازارها مسن تر شده و شروع به بسط بازه‌های ماریپچی می‌کنند در این مرحله آنها به کهکشانهای سیفرت فشرده و گونه N با قرمزگرایی متوسط تبدیل می‌شوند کمی بعد وقتی بازوهای آنها بیشتر شکل گرفت به کهکشانهای ماریپچی کاملی تبدیل شده و در نهایت به کهکشانهای بیضوی متحول می‌شوند.

آشکارسازی سیاهچاله‌ها

امواج گرانشی / لنزهای گرانشی

و اما آشکارسازی سیاهچاله‌ها

همان طور که پیشتر بدان اشاره کردیم ردیابی سیاهچاله‌ها به خودی خود امری محال به نظر می‌رسد چرا که در تعریف سیاهچاله مطرح شد که به اجرامی چگال و پرجرم اطلاق می‌شوند که حتی اجازه عبور نور را از خود نمی‌دهند.

نه نور و نه هیچ موج الکترومغناطیس دیگر و بدین لحاظ سیاهچاله موسوم شدند پس چگونه به آشکارسازی آن بپردازیم برای بررسی اثرات سیاهچاله‌ای این نکته قابل بررسی است که گرچه سیاهچاله‌ها از عبور و فرافکنی الکترومغناطیسی از حوزه خود جلوگیری می‌کنند ولی اثرات ناشی از انحنای فضا و گرانش آنها همچنان در پیرامون آنها قابل ردیابی است به فرض غیرعلمی اگر خورشید ما ناگهان به یک سیاهچاله تبدیل شود گرچه ما از فروغ حیات بخش آن محروم می‌شویم ولی همچنان زمین با همان فرم سابق به حول آن در گردش است و تغییری در مکانیزم گردشی آن روی نمی‌دهد. پس خود را معطوف به سیستم‌ها یی نظیر زمین - خورشید می‌کنیم.

اکثر ستارگان موجود در آسمان ستارگانی دوتائی هستند که به باینری استارها یا ستارگان مزدوج موسوم هستند.

یعنی دو ستاره تحت تأثیر جاذبه جرمی هم قرار گرفته و حول مرکز جرمشان شروع به گردش می‌کنند، که این ستاره‌ها ی دوتائی معمولاً به شکل‌ها ی مختلف وجود دارند.

مثلاً دو ستاره که هر دو رشته اصلی هستند نظیر خورشید و یا دوتائی‌ها بی که یکی از آنها در رشته اصلی قرار دارد و دیگری نیست مثل اینکه یک ستاره مثل خورشید باشد و همدمش کوتوله سفید یا همدمش ستاره نوترونی و یا اینکه همدمش در زمره سیاهچاله‌ها باشد و یا اینکه همدمش در زمره غول‌ها ی سرخ قرار گرفته باشد و یا اینکه هر دو ستاره از رشته اصلی بیرون باشند دو ستاره نوترونی یا دو ستاره کوتوله سفید، یک ستاره نوترونی و همدمش کوتوله سفید، یا دو سیاهچاله یا یک ستاره نوترونی و همدمش سیاهچاله به هر حال رشته‌ها ی مختلفی از دوتائی‌ها در آسمان قابل رؤیت هستند همان طور که ذکر شد رشته‌ای از این دوتائی‌ها همدمشان سیاهچاله است

برای بررسی این گونه سیستم‌ها ی مزدوج، چیزی که ملاحظه می‌شود این است که ستاره‌ای در آسمان حرکت مارپیچی انجام می‌دهد ولی در بررسی اپتیکی آن اثری از همدم آن مشهود نیست از روی حرکات همدم قابل رؤیت می‌توان حدس زد که جرم همدم ناپیدایش چه مقدار است گرچه این همدم ناپیدا می‌تواند نامزد یک سیاهچاله باشد.

اما استدالات اخترفیزیکی می‌تواند طوری باشد که آن را منسوب به گونه دیگری از ستارگان غیر از سیاهچاله کند.

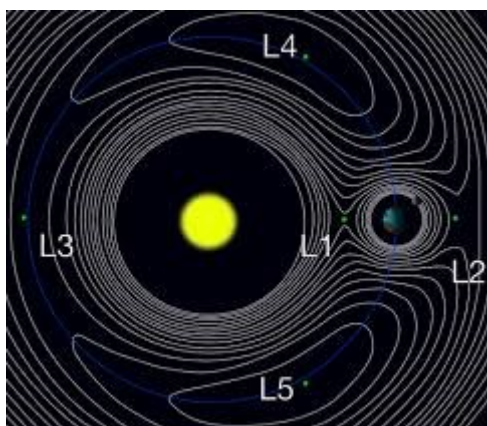
در دهه ۱۹۷۰ یک ستاره‌ای کشف شد در صورت فلکی دجاجة که در منطقه‌ای که نامزد سیاهچاله قرار داشت، اشعه X نیز گسیل می‌شد، اختر فیزیکدانان با طراحی ماهواره‌ای که در حوزه اشعه X کار می‌کرد، در پی آن

بودند که آیا می‌توان ستاره‌ای یافت که اشعه X از خودش ساطع کند؟ با کمال ناباوری این منطقه را پیدا کردند.

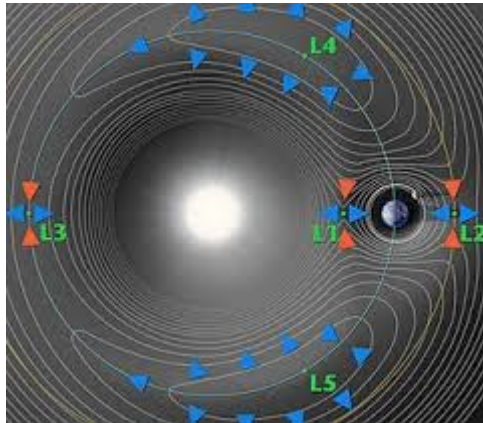
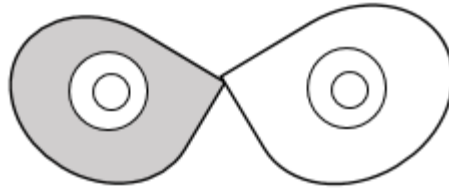
اشعه X، اشعه‌ای است که در دماهای بسیار بالا تابش می‌شود که غیر قابل تصور است و یا از شتابگری و توقف ناگهانی ذرات باردار حاصل می‌آید.

اختر فیزیکدانان با استدلالی این اشعه X را ناشی از حضور یک سیاهچاله دانستند و برای توجیه آن بدین استدلال متوسل شدند که:

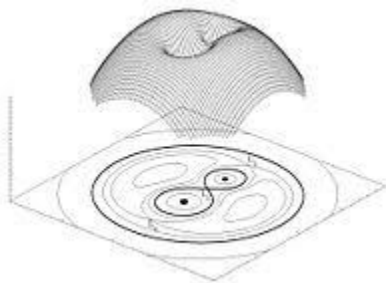
همان طور که می‌دانیم ستارگان دوتایی ستاره‌هایی هستند که حول مرکز جرمشان گردش می‌کنند، فردی به نام روچ از روی محاسبات انرژی پتانسیل حول ستارگان منطقه‌ای را به حول ستارگان مشخص و محاسبه کرد که به حد روچ شهرت دارد این منطقه ناحیه‌ای است که وقتی ستاره در روند تحول خود به غول قرمز تبدیل می‌شود ماده ستاره تا این حد را پر می‌کند، و در ستارگان دوتایی



حدود روچ دو ستاره در نقطه‌ای موسوم به نقطه لاکرانژ با یکدیگر اتصال دارند، بدین صورت که وقتی دو ستاره همدم هم هستند اگر یکی از ستارگان ناگهان به یک غول سرخ مبدل شود و حد روچ خود را پر کند.



از نقطه لاکرانژی می‌تواند جرم خود را از دست بدهد و این جرم از دست رفته به صورت قرصی بر افزایشی در حول ستاره همدمش به دور آن شروع به گردش می‌کند و این قرص در گردشی که حول ستاره همدم دارد به گونه یک سیال عمل می‌کند.



آن قسمت از قرص که به ستاره همدم نزدیکتر است با سرعت بیشتری می‌گردد و قسمت‌های دورتر کندتر می‌گردند و همین عامل اصطکاک قسمت‌های مختلف قرص روی هم می‌شود و عامل می‌شود که قسمت‌های نزدیک به سیاهچاله دمائی بالغ بر ۲ میلیون درجه سانتیگراد بدست آورده و نقاط دورتر دمائی به مراتب پایین‌تر دارد و این دما بسیار بالا باعث به وجود آمدن اشعه‌ای مثل اشعه x می‌شود، این استدلال در مورد ستاره -x دجابه، احتمال وجود یک سیاهچاله را در آن صورت فلکی تقویت نمود، ها و کینگ در این مورد خاطر نشان میکند که به احتمال ۹۵٪ متقاعد شده است که یک سیاهچاله در این منطقه وجود دارد که حدود ۶ برابر جرم خورشید جرم دارد و این مقدار در حد چاندرسکار، نه در حوزه کوتوله‌های سفید و نه ستارگان نوترونی است ولی در حد سیاهچاله قرار می‌گیرد و از سوئی وجود اشعه x ساطع شده از آن حاکی از جرم بسیار ثقیلی دارد، که در اطراف آن منطقه‌ای وجود دارد که گوئی زمان در آن متوقف شده است چرا که ساز و کار به وجود آمدن اشعه x به این گونه است که وقتی یک ذره بارداری ناگهانی شتاب بالا و سرعت بالائی را کسب می‌کند ولی ناگهانی متوقف می‌شود اشعه x به اطراف گسیل می‌دارد و این فرایند در اطراف سیاهچاله‌ها اتفاق می‌افتد.

در آسمان منابع اشعه x دیگری نیز وجود دارد که ویژگی‌هایی آنها بسیار شبیه به دجاجة -x است مثلاً پرگار -x که به (۵۶-۱۵۱۶U۳) معروف است.

هاوکینگ معتقد است که در آسمان علاوه بر سیاهچاله‌ها یی که در حوزه حد چاندرسکار تعریف می‌شوند، سیاهچاله‌ها یی هم وجود دارد که جرم آنها به مراتب کم است ولی به دلیل فشارهای خارجی به شدت متراکم شده‌اند که به آنها کهکشانهای نخستین گفته می‌شود.

این سیاهچاله‌ها یی کم جرم در دماها و فشارهای زیاد عالم بسیار نخستین تشکیل شده‌اند این سیاهچاله‌ها در صورتی که عالم نخستین کاملاً هموار و یکنواخت نبود می‌توانسته بوجود بیاید، اینکه بی نظمی‌ها یی لازم برای توضیح وجود ستاره‌ها و کهکشانها به تشکیل شمار با معنایی از این سیاهچاله‌ها یی نخستین منتهی شده است یا خیر به جزئیات شرایط نخستین بستگی دارد.

امواج گرانشی راهی به سوی ردیابی سیاهچاله‌ها:

آلبرت انیشتین در جریان ارائه نسبیت عام از جمله مسائلی را که پیش بینی کرد وجود نوعی دیگر از امواج بود که نه از نوع موج الکترومغناطیس بودند و نه از نوع موج مکانیکی محسوب می‌شدند که به امواج گرانشی موسوم بودند.

موج یعنی آشفتگی و حرکت آن، موج گرانشی از آشفتگی گرانشی و انتقال آن در فضا — زمان حکایت می‌کند.

همان طور که می‌دانیم گرانش حاصل جرم و انرژی می‌باشد، پس آشفتگی گرانشی در اثر نوسانات و آشفتگی‌ها یی است که در (جرم — انرژی) پدید می‌آید و این آشفتگی در بستر فضا و زمان منتقل می‌شود

همان طور که پیش تر بدان اشاره شد (جرم - انرژی) عامل انحنای فضا - زمان شده و در اصل هندسه فضا - زمان را شکل می‌دهند.

حال اگر (جرم - انرژی) نوسان کند یا دچار تغییر شود لاجرم در هندسه فضا - زمان یا انحنای فضا - زمان تغییر و آشفته‌گی ایجاد می‌شود. و این آشفته‌گی در کل فضا - زمان منتشر می‌شود.

پیش تر ذکر کردیم که انحنای فضا - زمان در تعبیر نسبیت عام در واقع به گونه‌ای انبساط و انقباض ریتم زمان یا انقباض و انبساط متریک فضا است. یعنی وقتی فضا - زمانی دچار آشفته‌گی می‌شود ریتم زمان و متریک فضا دچار نوسان می‌شود.

البته باید بدانیم که فضا - زمان چهار بعدی می‌باشد از آنجا که در محوطه‌ای که در آنجا هستیم اگر این آشفته‌گی به جایی برسد هر آنچه وابسته به فضا - زمان است دچار آشفته‌گی میکند، حتی خط کش‌ها و ساعت‌ها را، پس چگونه متوجه شویم که در منطقه‌ای فضا - زمان کش و قوس پیدا کرده است؟ پس لاجرم می‌بایست از خط کشی برای سنجش استفاده کرد که دسخوش تغییر در چهارچوب‌های مختلف نباشد و آن چیزی نیست به غیر از نور.

پس از خصوصیات موج گرانشی این است که یک موج چهاربعدی است که در فضا - زمان منتشر می‌شود این خصوصیت اولاً به علت پیوستگی فضا - زمان حاصل می‌شود نه از گسستگی آن که می‌تواند این آشفته‌گی را منتقل کند و اگر پیوستگی وجود داشته باشد وقتی موج گرانشی به یک منطقه از فضا - زمان وارد می‌شود باید همه ابعاد به یک ریتم انقباض و انبساط پیدا کنند

این آشفته‌گی همه خصوصیات موج را می‌تواند داشته باشد از جمله فرکانس، طول موج و بالاخره سرعت، در بحث پیرامون این خصوصیات

نکات دیگری هم وجود دارد و آن این است که معمولاً امواج مکانیکی به مرور زمان و وقتی از خود چشمه تولید موج دور می‌شوند رو به ضعف می‌گذارند و چشمه‌های الکترومغناطیس هم از میزان شدت آنها به شدت کم می‌شود یعنی به ازای هر متر، به توان چهار طبق قانون استفان – بولتزمن از شدت آنها کم می‌شود ولیکن در طول موجشان تغییری ایجاد نمی‌شود و سرعت هم تغییر نمی‌کند ولی در امواج مکانیکی هم سرعت و هم طول موج و هم سرعت دچار تغییرات می‌شود.

حالا این موج سوم که موج گرانشی موسوم است، چگونه موجی است؟ وقتی از چشمه تولید موج دور می‌شویم چه اتفاقی می‌افتد؟

برای پرداختن به این مطلب ابتدا به این امر می‌پردازیم که چرا در دو موج شناخته شده دیگر این اختلالات در اثر دور شدن از چشمه موج روی می‌دهد، در امواج مکانیکی که بستر حرکت آن ماده است، مثلاً موجی که در آب به وجود می‌آید هر قدر که از چشمه موج دور می‌شویم انرژی حاصله و منتقله در موج می‌بایست در سطح وسیع تر پخش می‌شود مثل یک چشمه موج در یک استخر که در ابتدا دوایری کوچک گرد خود به وجود می‌آورد و هر قدری به کرانه‌های استخر نزدیک می‌شویم لایحه‌ها دایره‌ها بزرگتر شده و انرژی حاصل از موج اولی می‌بایست در یک منطقه وسیع تری پخش شود

این مساله باعث می‌شود که در نهایت انرژی محدود به منطقه وسیعتر و وسیعتری توزیع شود پس هر چند انرژی در کل سیستم تغییری نمی‌کند ولیکن به علت توزیع بین ناحیه وسیع تر مقداری که به هر منطقه جزئی می‌رسد، کمتر است و همین کم شدن منطقه‌ای انرژی منجر به تغییر در سرعت انتشار و حتی طول موج و بسامد می‌کند.

ولی با رفتن به سوی بی نهایت هیچ گاه به صفر نمی‌رسد در امواج الکترومغناطیس که اساس بر این قرار می‌گیرد که سرعت انتشار امواج الکترومغناطیس باید همواره ثابت و برابر سرعت نور باشد لذا در سرعت و طول موج و بسامد در طول زمان و دور شدن از چشمه موج تغییری ایجاد نمی‌شود، ولیکن به علت همان توزیع انرژی در منطقه‌ای وسیع تر و وسیعتر به مرور از میزان شدت کاسته می‌شود و هر قدر از چشمه نور دور می‌شویم از شدت نور کاسته می‌شود.

حال سوال اینجاست مسلم است که با دور شدن از چشمه نور میزان شدت امواج گرانشی هم دچار تغییرات نزولی می‌شود چرا که باید در کل فضا زمان این انرژی حاصل از آشفتگی منتشر شود، ولی آیا در سرعت، بسامد و طول موج آن هم تغییری ایجاد خواهد شد و مقدار سرعت انتشار این موج چقدر پیش بینی می‌شود؟ و سوال دیگری که مطرح می‌شود این است که می‌توان این موج را میدان در نظر گرفت؟ آیا اصالت پیوستگی آن با این فرض از بین نمی‌رود؟ و برای ردیابی آن باید چه کاری انجام دهیم و در کجا تحقیق و اندازه‌گیری انجام دهیم؟ برای تحقیق در این امر ابتدا باید موج پیش بینی شده آشکار بشود و در مراحل بعد به خصوصیات آن دقت لازم مبذول شود، همان طور که می‌دانیم طبق نظریه نسبیت عام هر جرم در اطراف خود و انحنائی به وجود می‌آورد و این انحنا در اجرام کوچک قابل تحقیق نیست و در اجرام بزرگی چون خورشید به چند ثانیه قوسی می‌رسد آشفتگی در این انحنا، از چند مساله ممکن است به وجود آید:

یکی اینکه ناگهان در منطقه‌ای جرم کم یا زیاد شود مثل ادغام دوستاره یا حتی انفجار یک ستاره بزرگ.

و یا اینکه ستاره‌ای پر جرم حرکت کند و یا به دور یک ستاره دیگری به چرخش در آید.

این تغییرات می‌تواند موج گرانشی قابل ملاحظه‌ای ایجاد کند اما از آنجا که ستارگان نسبت به ما خیلی دور هستند و نزدیکترین ستاره به ما قریب به چهار سال نوری با ما فاصله دارد و در این فواصل خیلی دور، موج گرانشی بسیار کم شدت می‌شود پس برای ردیابی آن باید موج حاصله به حدی بزرگ باشد که بعد از گذشت مسافت زیاد، قابل ردیابی باشد پس بهترین گزینه برای چشمه این امواج می‌تواند ستارگان فوق سنگینی مثل ستاره‌های نوترونی یا سیاهچاله‌ها باشند که به گرد هم در حال گردش هستند.

چرا دو جرم به گرد هم در حال گردش هستند؟ به خاطر این است که به انحناى گرانشی یکدیگر وارد شده‌اند و به اصطلاح فیزیک کلاسیک به علت وجود انرژی جنبشی اولیه یا سرعت زیاد دور مرکز جرمشان شروع به گردش می‌کنند و هر قدر این انرژی بیشتر باشد فاصله دو جرم از هم بیشتر است و هر قدر کمتر باشد این دو جرم به یکدیگر نزدیکتر می‌شوند.

حال اگر در اثر گردش به مرور به دلیل این سرعت اولیه یا انرژی به اصطلاح دچار نزول شود پس لاجرم دو جرم به همدیگر نزدیک و نزدیکتر می‌شوند تا اینکه بر روی یکدیگر بیفتند و به هم جذب شوند حال فرض کنید دو جرم که در حال گردش به حول یکدیگر به گرد مرکز جرمشان با سرعتی هستند، در اثر این گردش موج گرانشی به اطراف گسیل کنند در اثر تابش این موج گرانشی در اصل انرژی خود را به اطراف گسیل می‌کنند، لاجرم از مقدار انرژی آن سیستم کم می‌شود و به مرور زمان منجر به نزدیکترین شدن دو جرم یکدیگر و در نهایت ادغام آنها می‌شود.

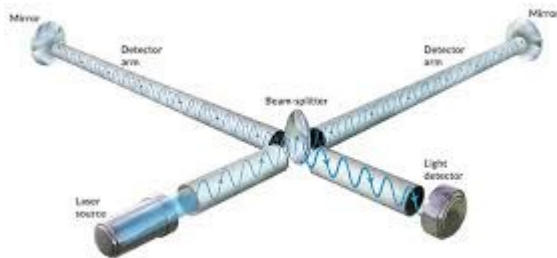
این مساله درباره اجرامی در حد اجرام منظومه شمسی و خورشید و حتی سیستم ماه و زمین هم وجود دارد که البته قابل اندازه گیری نیست

چرا که این موجی که گسیل می‌شود بسیار ضعیف است ولی برای اجرام ثقیلی چون دو ستاره نوترونی و یا دو سیاهچاله قابل ملاحظه است.

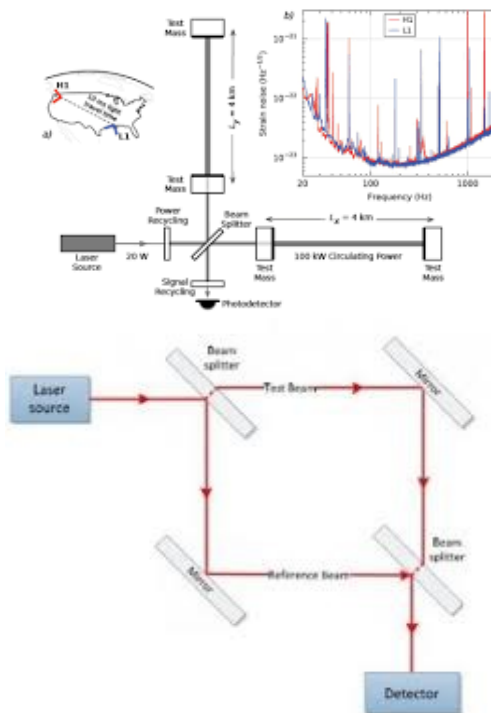
در سال (۱۹۷۴/۱۳۵۳) فیزیک دانی به نام « جوزف تیلور » و دانشجوی دکترایش « راسل ها لس » توانستند وجود امواج گرانشی را به شکل غیر مستقیم اثبات کنند. آنها منظومه‌ای دوتایی از ستارگان نوترونی را کشف کردند و با بررسی تغییرات امواج رادیویی دریافتی از دو تپ اختر متوجه شدند میرایی گردشی آن‌ها به دور یکدیگر با انرژی امواج گرانشی ساطع شده از این منظومه برابر است. این دو فیزیکدان به پاس این کشف جایزه نوبل فیزیک را در سال ۱۳۷۲ دریافت کردند.

برای ردیابی مستقیم این امواج چه می‌شود کرد؟

برای ردیابی مستقیم امواج گرانشی می‌بایست مسلماً این افت و خیز فضا - زمانی را به گونه‌ای آشکارسازی کرد، اما همان طور که گفته شد با توجه به دوری جایگاه ستارگان از ما و ضعیف بودن این افت و خیز باید از آشکارسازهایی با دقت فوق العاده بالا بهره ببریم، اولاً می‌بایست برآورد کرد که از چه ناحیه‌ای با چه فاصله‌ای ممکن است این امواج گسیل شوند تا بر مبنای آن آشکار ساز ساخته شود مناطقی که احتمال وجود سیاهچاله‌ها و یا ستاره‌ها ی نوترونی گردان وجود دارند می‌بایست تخمین زده شود، تکنیک آشکارسازی باید طوری باشد که بتوان آشفنگی فضا - زمان را آشکار کرد یعنی کش و قوس‌ها ی بوجود آمده در سیستم را اندازه گیری کرد، این آشکارساز حتماً باید بر مبنای نور هم کار کند چرا که همان طور که متذکر شدیم خط کش اندازه گیری ما، نور است.



بهترین وسیله‌ای که می‌توان برای این منظور در نظر گرفت همان وسیله‌ای بود که ماکلسون و مورلی به وسیله آن توانستند سرعت نور را محاسبه کنند، دستگاهی به نام تداخل سنج نور که بر مبنای آینه‌ها تشکیل شده بود، این دستگاه به این گونه ساخته شده که دو آینه را به گونه‌ای تعبیه می‌کنند که از یک نقطه مشخص به صورت عمود بر هم قرار دارند .



به طوری که این دو آینه تا نقطه عمود M ، فاصله‌ای دقیقاً یکسان داشته باشند در نقطه M تیغه‌ای قرار می‌دهند که هم نور را می‌تواند از خود عبور دهد و هم نور را منعکس می‌کند پس پرتو نوری را به تیغه M می‌تابانند، قسمتی از نور به سوی آینه W گسیل شده و قسمتی به جانب آینه Q می‌رود با برخورد با آینه‌ها منعکس می‌شود و در نهایت وارد آشکارساز شده و در آنجا تداخل می‌کند در اثر این تداخل فرانژهای روشن و تاریک در آشکارساز هویدا می‌شود، اگر به هر صورت در هر کدام از طول‌های $L >$ تغییر ایجاد شود. در فرانژها خود را نشان می‌دهد. این ابتکار

مایکلسون و مورلی بود برای ردیابی امواج گرانشی در تاسیساتی موسوم به لایگو پرتو لیزر به دو پرتو هماهنگ تقسیم می‌شود تا در تونلی چهار کیلومتری عمود بر هم حرکت کنند این دو پرتو بارها از آینه‌های مستقر در دو انتهای تونل‌ها بازتاب می‌شوند و پس از طی مسافتی معادل ۴۰۰ کیلومتر به درون آشکارساز هدایت شده و با هم تداخل می‌کنند در حالت معمول دو پرتو لیزر مسافت‌های یکسانی را طی می‌کنند و وقتی درون آشکارساز تداخل می‌کنند یکدیگر را خنثی کرده و محیط را تاریک نگاه می‌دارند

وقتی موجی گرانشی از لایگو می‌گذرد شکل تونل‌ها اندکی عوض می‌شود مسافت طی شده توسط دو پرتو نیز کمی تغییر کرده و پرتوها از هماهنگی با یکدیگر خارج می‌شوند. بنابراین پس از تداخل درون آشکارساز یکدیگر را خنثی نمی‌کنند و درخششی از نور در آشکارساز ثبت می‌شود لایگو با رصدخانه‌های مشابه در دیگر نقاط جهان همکاری دارد تا هر سیگنال ثبت شده مستقلاً به تایید برسد و با مثلث بندی بین مشاهدات موقعیت دقیق منبع موج شناسائی شود.

واما کشف امواج گرانشی:

در ساعت ۱۱:۵۰ ظهر روز چهاردهم سپتامبر ۲۰۱۵ به وقت مرکزی اروپا (ساعت ۲۰:۱۵ روز ۲۳ شهریور ۱۳۹۴ به وقت ایران) یکی از کارشناسان مرکز LiGO که در آزمایشگاه مشغول بررسی دستگاهها بود، ناگهان سیگنالی را مشاهده کرد که در آشکارساز ثبت شده، و هر دو آشکارساز این سیگنال را ثبت نموده‌اند این موج با بسامد ۳۵ هرتز شروع شد و به سرعت تا ۲۵۰ هرتز بالا رفت، سپس رفتاری آشفته پیدا کرد و سریع میرا شد و همه این اتفاقات در ۰/۲۵ ثانیه رخ داد.

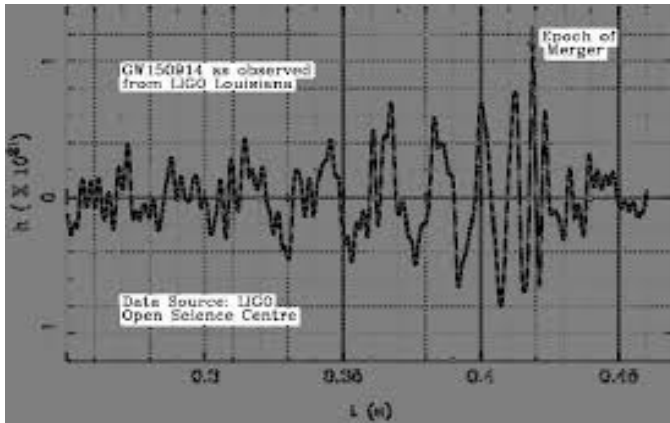
این دو آشکارساز این موج را در فاصله زمانی ۰/۰۰۷ ثانیه ثبت کردند.

اما چون سایر آشکارسازها فعال نبودند، و دو آشکارساز فقط این سیگنال را ثبت کردند تخمین زدند که این موج می‌باید از حول وحوش ابرهای ماژلانی محل اجتماع سیاهچاله‌ها آمده باشد

در جایی که با توجه به سیگنال‌ها ی دریافتی در فاصله‌ای در حدود $1/3$ میلیارد سال نوری از ما قرار دارد در این منطقه احتمال دادند که دو سیاهچاله در حال گردش هستند و مراحل انتهایی این گردش در حال انجام است و به زودی موج گرانشی عظیم تری از این ناحیه رمبیده خواهد شد اگر چنانچه برآوردها و محاسبات آنها درست باشد و سیاهچاله‌ای اصلاً وجود داشته باشد.

بالاخره روز پنج شنبه ۲۲ بهمن ۱۳۹۵ فرا رسید فیزیکدانان شاغل در رصدخانه تداخل لیزری پیشرفته امواج گرانشی «لایگو» اعلام کردند که آشکارسازهای دوقلویشان امواج گرانشی حاصل از برخورد دو سیاهچاله را در فاصله $1/3$ میلیارد سال نوری از زمین را ثبت کرده اند.

این کشف نخستین مورد از وجود سیاهچاله‌ای دوتایی و ادغام آنها بود که یکی از سیاهچاله‌ها برخوردی، ۳۶ برابر خورشید و دیگری ۲۹ برابر خورشید جرم داشته است، این دو، میلیون‌ها سال در مسیری مارپیچ به دور هم می‌گشتند تا اینکه ناگهان به هم برخورد کردند و حفره گرانشی سنگین تری در فضا - زمان پدید آوردند که ۶۲ برابر خورشید سنگینی داشت این رویداد مهیب چنان انرژی عظیمی (معادل سه جرم خورشید) را در قالب امواج گرانشی آزاد کرد که در همان اندک زمان ادغام دو سیاهچاله از انرژی تابشی تمام ستارگان عالم بیشتر بود، با تحلیل بلندی امواج ثبت شده می‌توان زمان وقوع برخورد را تخمین زد که در این مورد بین ۶۰۰ میلیون تا $1/8$ میلیارد سال پیش روی داده است



لنزهای گرانشی:

همان طور که در فصول قبل گفته شد از دیرباز دانشمندان مترصد بودند که اثرات گرانشی اجرام را بر نور بررسی نمایند.

انحراف نور از کنار یک جسم پرجرم را برای اولین بار توسط نیوتن در کتاب اپتیک در سال (۱۷۰۴ م / ۱۰۸۳ ش) مورد بحث قرار داد و در سال

(۱۷۸۲ م / ۱۱۶۱ ش) ها نری کاوندیش انحراف نور را با توجه به فرضیه ذره‌ای بودن نور در حضور میدان گرانشی حساب کرد به طور موازی این کار توسط پیرسیمون لاپلاس نیز انجام شد وی در این کار متذکر شد که در صورت پرجرم بودن یک جرم به حد کافی نور قادر به گریز از آن نیست.

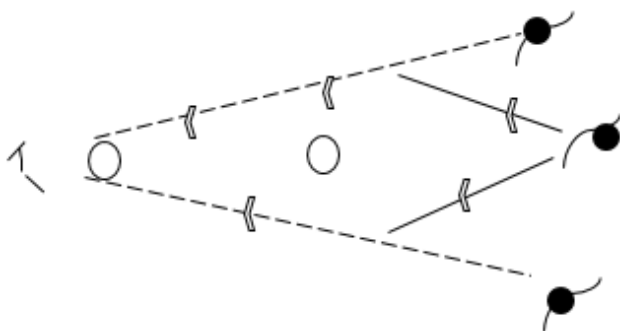
در سال (۱۸۰۴ م / ۱۱۸۳ ش) سولدنر انحراف نور یک ستاره را موقعی که امتداد خط دید ستاره در لبه خورشید باشد حساب کرد، او دریافت که پارامتر برخورد R بر حسب شعاع خورشید باعث انحراف نور به صورت زیر می‌شود:

$$\alpha = \frac{2GM}{RC^2} = \frac{0.875''}{R/R_{\odot}}$$

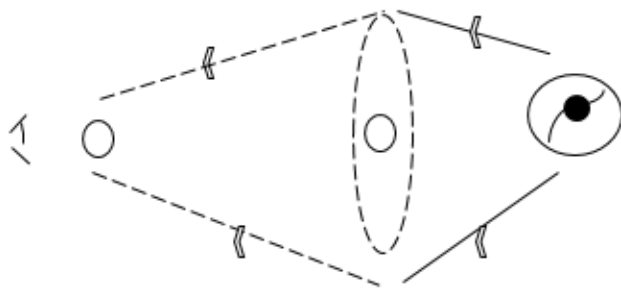
در اینجا C سرعت نور در خلاء، G ثابت گرانشی، M جرم خورشید می باشد.

در سال ۱۹۱۵ اینشتین، با استفاده از تئوری نسبیت عام میزان انحراف نور را دو برابر حالت نیوتونی به دست آورد. این پیشگوئی در سال ۱۹۱۹ توسط سر آرتور ادینگتون در یک خورشید گرفتگی تصدیق شد.

اندازه گیری فوق ۳۰ درصد خطای اندازه گیری داشت با وجود این در اندازه گیریهای بعدی با دقت ۱ درصد نسبیت عام بدین صورت تصدیق شد در سال ۱۹۲۰ م / ۱۲۹۹ ش ادینگتون وجود تصویری دوگانه را در همگرایی گرانشی را متذکر شد.



در همان سال چولسن نشان داد که در صورت قرار گرفتن ناظر، منبع و عدسی گرانشی در یک راستا به عوض دو تصویر، یک تصویر حلقه‌ای شکل به نام حلقه انیشتین تشکیل خواهد شد.



در سال ۱۹۳۷ / ۱۳۱۶ ش فیلترز زوئیسکی کاربرد همگرایی گرانشی در اختر فیزیک و کیهان شناسی را نشان داد. برای رصد اجرام دور وی از همگرایی گرانشی به عنوان یک عدسی طبیعی استفاده کرد و برای اندازه گیری جرم خوشه‌ها ی کهکشانی نیز استفاده از همگرایی گرانشی را پیشنهاد کرد

فیزیک سیاهچاله‌ها*۱۶۳

در سال (۱۹۶۴ / ۱۳۴۳) رفستادل مسئله را برای عدسی چندتایی به دست آورد در این کار وی اهمیت همگرایی گرانشی را در اختر فیزیک توضیح داد و در همان سال استفاده همگرایی گرانشی در مقیاس‌های بزرگ برای اندازه‌گیری ثابت‌ها بل مطرح شد.

رفستادل و چاتق متذکر شدند که نور ستاره‌های موجود در کهکشان می‌تواند توسط ستاره‌های دیگر نیز همگرا شود که انحراف نور از مرتبه ثانیه گوسی را به دست می‌دهد.

به همین دلیل به این نوع همگرایی گرانشی ریز همگرایی گرانشی گفتند.

در همین سال جرمی برای همگرایی گرانشی که منبع آن نقطه‌ای و رادیویی بود کشف شد.

در سال (۱۹۸۶ / ۱۳۶۵) پاکزیسکی، استفاده از پدیده ریز همگرایی گرانشی را برای کشف ماچوها با استفاده از رصد ستاره‌های ابرهای ماژلانی پیشنهاد کرد.

در این حالت تصاویر حاصل از همگرایی قابل تفکیک نبوده و تنها با اندازه‌گیری تقویت نور ستاره‌های زمینه می‌توان به وجود ماچوها پی برد.

فرمالیسم همگرایی گرانشی در سیاهچاله‌ها:

زاویه انحراف:

به طوری که از تئوری نسبیت عام بدست می‌آید انحراف نور در نزدیکی یک ستاره از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\alpha = \frac{\epsilon GM}{bc^2} \ll 1$$

حال اگر بخواهیم این را برای سیاهچاله بسط دهیم اگر جرم هر سیاهچاله را ۶ برابر خورشید بدانیم کافیت که به جای M ، $6M$ را قرار دهیم

$$\alpha = \frac{\epsilon G(6M)}{bc^2} \ll 1$$

پس لاجرم خواهیم داشت

$$\alpha = \frac{2\epsilon GM}{bc^2} \ll 1$$

به طوری که b پارامتر برخورد بین فاصله بین خط واصل ناظر - ستاره و عدسی گرانشی در صفحه منحرف کننده می باشد. برای یک توزیع از سیاهچاله‌ها میزان انحراف فوق به صورت زیر به دست می آید

$$\vec{\alpha} = \sum_i^N \frac{\epsilon n G m_i}{c^2 b_i} \vec{b}_i$$

به طوری که $\epsilon n \gg 1$ باشد:

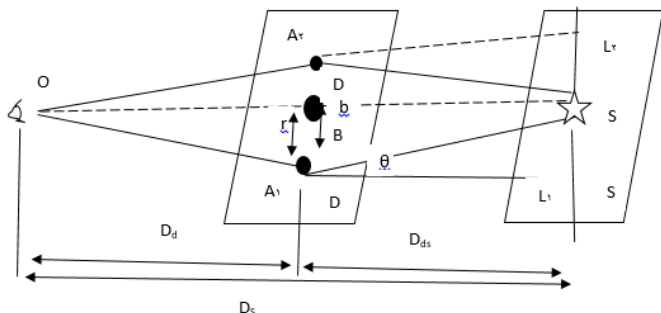
چهارچوب هندسی:

اثر سیاهچاله‌ها در همگرایی گرانشی به سه عامل بستگی دارد. موقعیت سیاهچاله موقعیت ستاره، عدسی گرانشی و ناظر، در اینجا فرض بر آن است که انحراف نور بسیار کوچک بوده و شکست در صفحه عدسی رخ می دهد، اجزای هندسی همگرایی گرانشی عبارتند از:

- ۱) صفحه S که صفحه منبع نامیده می شود و در فاصله D_s از ناظر قرار دارد. این صفحه بر خط واصل ناظر و ستاره عمود است. صفحه D که صفحه عدسی نامیده می شود در فاصله D_d از ناظر قرار دارد. صفحه D به موازات صفحه S می باشد

ناظر در امتداد خط عمود بر این دو صفحه قرار دارد.

پارامتر X را نسبت فاصله ناظر تا عدسی به ناظر تا منبع $x = \frac{D_d}{D_d}$ تعریف می‌کنیم.



موقعیت هندسی ناظر، عدسی گرانشی و ستاره زمینه در این شکل نشان داده شده است مسیر OBS خط واصل ناظر به ستاره را در غیاب عدسی گرانشی نشان می‌دهد و دو مسیر کناری نیز مسیر نور بعد از اعمال عدسی گرانشی است. b پارامتر برخورد و r موقعیت تصویر را نشان می‌دهد

معادلات حاکم بر عدسی گرانشی:

با توجه به شکل فوق مسیر لازم برای رسیدن نور از طرف ستاره به

چشم ناظر را نشان می‌دهد. اگر $\alpha = \frac{\xi_{GM}}{rc}$ زاویه انحراف نور باشد در این صورت می‌توان رابطه هندسی زیر را داشته باشیم.

$$\vec{\eta} D_{os} + \vec{\alpha} D_{ds} = \vec{\theta} D_{os}$$

به طوری η که موقعیت زاویه‌ای عدسی نسبت به خط دید ما با موقعیت

ستاره و θ موقعیت زاویه‌ای ستاره در حال مشاهده نسبت به موقعیت واقعی

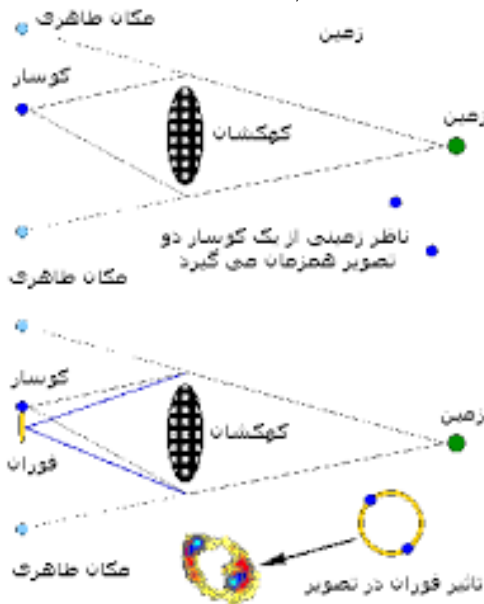
آن می‌باشد. با جایگذاری $\eta = \frac{r}{D_{od}}$ و $\theta = \frac{r}{D_{od}}$ در معادله فوق خواهیم داشت

$$r^2 - rr_{\cdot} - R_E^2 = 0$$

به طوری که $R_E^2 = \frac{\xi G M_{od} D_{os}}{c^2 D_{os}}$ شعاع انیشتین نامیده می‌شود.

به طوری که قبلاً نیز ذکر شد، r موقعیت ستاره در غیاب عدسی گرانشی و r موقعیت تصویر با حضور عدسی گرانشی است. با توجه به معادله فوق داریم که برای هر شی نقطه‌ای دو تصویر مطابق شکل داشته باشیم،

$$r_{\pm} = \frac{r_{\cdot} \pm \sqrt{r_{\cdot}^2 + \xi R_E^2}}{2}$$



تغییرات در شدت نور دریافتی:

به طوری که دیدیم انحراف نور در اثر همگرایی گرانشی باعث تغییر در شکل تصویر دریافتی می‌شود فرض کنیم که سطحی از مخروط نوری که

نور یک ستاره، صفحه عدسی را که در غیاب عدسی می‌پوشاند، dA_1 باشد در صورت همگرایی نور ستاره و تغییر مسیر پرتوهای نوری، سطح مخروط نور در صفحه منحرف کننده به dA_2 تغییر می‌کند تغییر میکند، اگر انرژی که از طرف ستاره به ما می‌رسد متناسب با سطح مخروط ستاره در صفحه منحرف کننده باشد در این صورت میزان تقویت نور برابر خواهد بود با:

$$A = \frac{dA_2}{dA_1}$$

با استفاده از معادله $u^\pm = \frac{1}{r} (u \cdot \pm \sqrt{u \cdot^\xi + \xi})$ میزان تقویت نور

برای هر نقطه از سطح ستاره می‌تواند با محاسبه ژاکوبین تبدیل بین مختصات r و $r^\pm$ ، به صورت $J^+ = \frac{\delta r^+}{\delta r}$ ، $J^- = \frac{\delta r^-}{\delta r}$ بدست می‌آید. در پدیده

همگرایی گرانشی تصاویر قابل تفکیک نیستند بنابراین کل افزایش شدت نور ستاره زمینه به صورت مجموع شدت نور تک تک تصاویر خواهد بود:

$$A = J^- + J^+$$

با قرار دادن مقادیر J^- و J^+ در فوق مقدار A به صورت زیر به دست می

آید:

$$A = \frac{r + u \cdot^\xi}{u \cdot (u \cdot^\xi + \xi)^{\frac{1}{2}}}$$

با فرض حرکت مستقیم الخط برای حرکت نسبی ماچوها، u را می‌توان به صورت $u^2 + \frac{v^2}{R_E^2} (t - t_*)^2$ نوشت به طوری که در اینجا u کمینه پارامتر برخورد است مرتبه بزرگی R_E در داخل کهکشان به صورت زیر بدست می‌آید:

$$R_E = 9/0.2 \left(\frac{D_s}{10 \text{ kpc}} \right)^{\frac{1}{2}} (x(1-x))^{\frac{1}{2}} \left(\frac{M}{M_*} \right)^{\frac{1}{2}} A.V$$

برای فواصل داخل کهکشان مانند $D_s = 10 \text{ kpc}$ و $D_d = 10 \text{ kpc}$ شعاع انیشتین برابر مقدار زیر حساب می‌شود:

$$R_E = 3/4 \left(\frac{M}{M_*} \right)^{\frac{1}{2}} A.V$$

برای $M = M_*$ مقدار $R_E = 1/4 A.V$ را به دست می‌آید. برای مقدار زاویه جدائی بین دو تصویر بپردازیم:

$$\theta = \frac{R_E}{D_d} = 0.2/9 \left(\frac{M}{M_*} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{10 \text{ kpc}}{D_d} \right)^{\frac{1}{2}} (1-x)^{\frac{1}{2}}$$

با قرار دادن پارامترهای مربوط به داخل کهکشان مقدار زاویه فوق از

$$[?] = \frac{24/1AV}{0kpc} \text{، مرتبه،}$$

۵ میکرو ثانیه حساب می‌شود.

زمان عبور انیشتین یعنی مرتبه زمانی تقویت نور را نیز می‌توان به

صورت زیر حساب کرد:

$$t_E = \frac{R_E}{V_T} = V_T^{-1} \sqrt{\frac{\xi GM}{C^2} D_S x (1-x)}$$

$$78/11 \left(\frac{M}{M_\odot} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{D_{sx}}{10 kpc} \right)^{\frac{1}{2}} (1-x)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{20 \cdot kms^{-1}}{u_T} \right) Day$$

به طوری که V_T سرعت نسبی عدسی نسبت به خط دید ما می‌باشد.

برای داخل کهکشان مقدار زمان عبور انیشتین از مرتبه چند ده روز به دست می‌آید.

به طوری که بعداً نیز خواهیم دید می‌توان با استفاده از خواص منحنی پاکزینسکی حوادث ریز همگرایی را از حوادث دیگر مانند ستاره‌ها ی متغیر و یا ستاره‌ها ی دوتائی تشخیص داد دو خاصیت عمده منحنی پاکزینسکی عبارتند از:

۱- منحنی نوری نسبت به زمان متقارن است.

۲- تغییرات نور برای طول موج‌ها ی مختلف به یک اندازه است.

پس به طریق گفته شده می‌توان، سیاهچاله‌ها ی درون حوزه کهکشان

را مورد جستجو قرار داد و رصد نمود.

ترمودینامیک سیاهچاله‌ها

اطلاعات و آنتروپی، مرز هلوگرام، تابش هاوکینگ

ترمودینامیک سیاهچاله‌ها:

ترمودینامیک علمی است که با پیامد رونسانس و اختراع ماشین بخار به وجود آمد و در واقع علمی است که مکانیزم ماشین بخار را تشریح می‌کند علمی که به گرما و دما، کار و حرارت و فشار و از این قبیل امور می‌پردازد و بر اساس نظریات اندیشمندی به نام سعدی کارنو شکل گرفت.

یکی از اصول ترمودینامیک که به اصل اول نیز موسوم است عنوان می‌کند که همواره گرما به سوی سرما در حال حرکت است یعنی اگر در سیستمی گوشه‌ای از آن را گرم کنیم این گرما در کل سیستم منتشر می‌شود و کل سیستم در نهایت به تعادل می‌رسد بعدها مشخص شد که گرما در واقع حرکت اتمهای یک سیستم است و هر قدر که این حرکت تندتر باشد گرما بیشتر است و با این تعبیر به راحتی می‌شد که ساز و کار قانون اول ترمودینامیک را توضیح داد، اما نکته قابل توجه این بود که در این فرایندها ما با حرکتی یک طرفه رو به رو هستیم، مثلاً فرض کنید ما در محفظه‌ای

تعدادی مولکول اکسیژن داریم و در محفظه‌ای دیگر هیدروژن داریم، حال این دو ظرف را به گونه‌ای به هم مرتبط کنیم مشاهده می‌شود که کم کم هر دو گاز به صورت یکنواخت در کل محفظه مرتبط توزیع می‌شوند، این حالت در نهایت اوج بی‌نظمی سیستم است حال اگر بخواهیم دوباره سیستم را به حالت اول باز گردانیم، به صورت طبیعی غیر ممکن است یعنی به عبارتی فرایند یک طرفه است، طبیعت به طور کلی به سوی بی‌نظمی پیش می‌رود و این روند رو به افزایش و یک طرفه است که به این بی‌نظمی به اصطلاح آنتروپی گفته می‌شود به عبارتی همواره آنتروپی سیستم در حال افزایش است.

این اصل یکی از اصول مهم فیزیک است که از ماشین بخار تا سیاهچاله را در بر می‌گیرد، در فیزیک سیاهچاله‌ها چیزی به مثابه همین قانون دوم ترمودینامیک وجود دارد، عملی یک طرفه که کمیتی در سیاهچاله را زیاد می‌کند، این کمیت چیزی جز جرم نیست، سیاهچاله‌ها به مرور زمان با افزوده شدن جرم به جرمشان، جرمشان افزایش یافته و در نتیجه افق رویداد آنها نیز

$$r = \frac{2GM}{c^2}$$

افزایش می‌یابد لذا پیشنهاد شد همین افق رویدادی که شما در سیاهچاله ملاحظه می‌کنید در اصل به منزله همان آنتروپی است که در ترمودینامیک وجود دارد بدین لحاظ به این بخش از مطالعات، ترمودینامیک سیاهچاله اطلاق می‌شود.

اطلاعات و آنتروپی:

اطلاعات و آنتروپی رابطه‌ای تنگاتنگ با یکدیگر دارند برای اینکه این جریان را درک کنیم متوسل به مثالی می‌شویم، فرض کنید در کتابخانه‌ای

ده کتاب با عناوین مختلف روی میز قرار داده شده است از یک جنس اما در موضوعات مختلف به مرور زمان این کتابها رو به فرسودگی می‌رود و رفته رفته فرسوده تر و فرسوده تر می‌گردد تا اینکه از کتابها تا بعد از مدت زمان طولانی چیزی جز پودر باقی نمی‌ماند در این حال اطلاعات موجود در کتابها از بین رفته و در عوض آنترپوی سیستم افزایش یافته است.

به عبارتی با افزایش آنترپوی اطلاعات رو به کاستی نهاده و در نهایت با ازدیاد بیشتر آنترپوی اطلاعات از بین رفته است، یعنی به عبارتی اطلاعات و آنترپوی گوئی نسبت عکس دارند یعنی با ازدیاد یکی دیگری نزول می‌یابد.

پس اطلاعات عکس آنترپوی است نه طبق اشتباه مرسوم عین آنترپوی، اما یک نکته شایان توجه در این میان وجود دارد گر چه اطلاعات مورد نظر مادر یک مرتبه از بین رفته است ولی اگر یک مقدار سطح نگرش را در سطح اتمی و مولکولی کاهش دهیم خواهیم دید گرچه آنترپوی زیاد شده و کل کتابها پودر شده‌اند اما این اتمها و مولکولها ی پودر همان اتمها و مولکولها ی کتابهای قبلی هستند یعنی در حالت پایه می‌توان بگوییم که اطلاعات پایسته بوده و ثابت باقی مانده است پس تعریف ما از اطلاعات با تعریف طبیعت از اطلاعات متفاوت است.

ما در این کتابهای پودر شده اطلاعات مورد نظرمان قابل حصول نیست و پنهان شده است ولی اطلاعات مورد نظر طبیعت این طور نیست مادامی که هدف ما بررسی طبیعت باشد اطلاعات اساسی درون کتاب پایسته خواهد بود پس می‌توان گفت که با افزایش آنترپوی سیستم، اطلاعات پنهان سیستم افزایش پیدا می‌کند شاید این تعبیر با آنچه مرسوم است جور در بیاید

مرز هولوگرام:

در سیاهچاله‌ها اتفاقی که می‌افتد این است که هر چه شما کتاب و هر چیز دیگر را به داخل سیاهچاله می‌اندازید کل اطلاعات پنهان آن زیاد می‌شود و در عوض آنتروپی هم در حال افزایش است یعنی با افتادن اجرام به داخل سیاهچاله، آنتروپی سیاهچاله و اطلاعات پنهان آن زیاد و زیاده‌تر می‌شود از آنجا که جرم سیاهچاله در حال افزایش است و آن هم متناسب با شعاع شوارزشیلد است پس مساحت افق رویداد هم افزایش می‌یابد.

یعنی اطلاعات پنهان افزایش یافته و متناسب با آن مساحت افق رویداد هم افزایش می‌یابد به عبارتی می‌توان گفت که مساحت افق رویداد حاکی از اطلاعات پنهان است پس می‌توان با مطالعه افق رویداد درباره اطلاعات پنهان داخل سیاهچاله اطلاعاتی بدست آورد، این مثل آن است که با مطالعه جلد یک کتابی اطلاعاتی درباره محتوای کتاب بدست آوریم این حداکثر اطلاعاتی که به دست می‌آید را مرز هلوگرام می‌گویند. هولوگرام در اصل یک ساختار خاص دو بعدی است که اطلاعات سه بعدی را در خود ذخیره دارد با تابش نور لیزر به محیطی دو بعدی در انعکاس‌ها ی متعددی که در آن به وجود می‌آید ساختار سه بعدی به نظر می‌رسد یعنی شما در اصل اطلاعاتتان در دو بعد قرار دارد اما همین سطح دو بعدی در حالتی می‌تواند اطلاعات سه بعد را به شما بدهد.

تابش‌ها و کینگ:

از زمانی که ایده آنتروپی در سیاهچاله مطرح شد این مسئله مطرح شد که افق رویداد و جرم سیاهچاله نسبت مستقیم با آنتروپی دارند و به مثابه خود آنتروپی در سیستم هستند کسی چون‌ها و کینگ توانست که این ایده را پردازش و جدی تلقی کند.

استفن‌ها و کینگ نه تنها حضور آنتروپی در سیاهچاله‌ها را مورد ارزیابی علمی قرار داد بلکه معتقد بود که علاوه بر وجود آنتروپی در سیستم،

سیاهچاله در اثر وجود این آنتروپی تابش هم می‌کند، تا قبل از این با توجه به ایده‌های نسبیت عام، و بی‌موقلمداد کردن سیاهچاله مبنی بر اینکه ما از سیاهچاله به غیر از جرم، اسپین و بار الکتریکی چیزی بیشتر نمی‌دانیم و اطلاعی نداریم، اماها و کینگ دمائی به سیاهچاله منسوب کرد و تابشی به آن نسبت داد تابش‌ها و کینگ یک ایده در مکانیک کوانتوم است طبق این ایده انرژی ناشی از سیاهچاله، در خارج از افق رویداد توان تولید زوج را دارد و در واقع در خارج از افق رویداد دو زوج تولید می‌شوند.

ممکن است که یکی از این زوج‌ها به داخل خود سیاهچاله بیفتد و زوج دیگر یا با زوج دیگری ترکیب شود و یا به صورت ناقص آزادانه حرکت کند و دور شود که این حرکت آزادانه به تابش اتلاق می‌شود.

پس تابشی هر چند ضعیف از سیاهچاله به سوی خارج جریان دارد که همین تابش چون باعث از دست رفتن انرژی از سیستم سیاهچاله می‌شود در نهایت منجر به تبخیر سیاهچاله خواهد شد.

اما نکته‌ای در اینجا وجود دارد اگر زمانی حالا در میلیاردها سال دیگر سیاهچاله‌ای تبخیر شود اطلاعات پنهان و آنتروپی موجود در آن و اطلاعات پایه کوانتمی که باید پایسته باقی بماند در درون آن چه خواهد شد؟ اگر بگوئیم که اطلاعات از بین می‌رود که با اصل پایستگی اطلاعات پایه جور در نمی‌آید و اگر آن را نپذیریم مسئله قابل توجه نیست مگر آنکه بگوئیم قبل از تبخیر شدن اطلاعات به بیرون تابش کرده که با اصل سیاهچاله‌ها تناقض دارد.

اگر بگوئیم که اطلاعات باقی می‌ماند و در نقطه تکیه قرار دارد قابل اثبات نیست مگر آنکه بگوئیم در هنگام سقوط اجرام به داخل سیاهچاله دو نسخه از اجرام وجود دارد نسخه‌ای در افق رویداد است و نسخه‌ای در داخل خود سیاهچاله.

وقتی که سیاهچاله از بین می‌رود این نسخه افق رویداد هنوز باقی است، این اصل، اصل مکملی خوانده می‌شود در این اصل اینگونه مطرح می‌شود ما باید همان طور که پیشتر گفته شده جرم را از نگاه دو ناظر یکی در بیرون از افق رویداد و یکی همراه با جرم نگاه کنیم.

آن ناظر که در بیرون افق رویداد است مشاهده می‌کند که جسم به درون سیاهچاله سقوط می‌کند و در نهایت در افق رویداد متوقف می‌شود پس اطلاعات در افق رویداد قرار می‌گیرد و از لحاظ ناظر همراه جسم مشاهده می‌شود که جرم به سوی نقطه تکینه در سیلان و حرکت است پس اطلاعات را از افق رویداد به داخل عبور میدهد.

فیزیکدانان فیزیک کوانتومی به این راه حل ایرادی وارد میکنند آنها ایراد می‌گیرند وجود دو نسخه اطلاعات اصل عدم قطعیت‌ها یزنبرگ را با مشکل مواجه می‌کند چرا که همزمان هم می‌توان ممنتوم و هم جایگاه جسم را اندازه گیری کرد و این نقض مکانیک کوانتومی است.

برای برون رفت از این اشکال مسئله‌ای که مطرح می‌شود این است که دو ناظر با هم در ارتباط علی نیستند پس لاجرم هر دو اطلاعاتشان با یکدیگر مبادله نمی‌شود تا این اشکال پیش آید.

حال اشکال تراشان ایرادی دیگر را وارد کردند مبنی بر این که ناظر بیرونی ممکن است که اطلاعات مربوط به ذره را از افق رویداد دریافت کند و در یک اقدامی خود به درون سیاهچاله بپرد تا اطلاعات داخلی را هم دریافت کند فیزیکدانان برای برون رفت از این اشکال هم ایده‌ای به نام **دیواره آتشین** را در نزدیکی افق رویداد مطرح کردند که به علت تابش‌های و کینگ دیوار آتشین در نزدیکی افق رویداد وجود دارد که مانع از نفوذ ناظر به داخل افق رویداد می‌شود که البته مشخص است که نظری قابل

فیزیک سیاهچاله‌ها* ۱۷۷

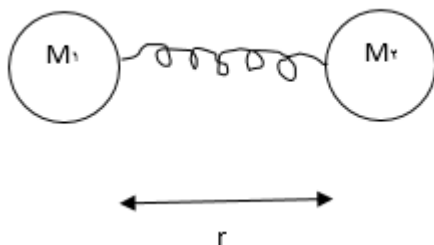
دفاع و قوی نیست پس می‌توان گفت که این تناقض رفع نشده است و هنوز پیرامون آن پژوهشهای جریان دارد.



کیهان به عنوان یک سیاهچاله

کیهان به عنوان یک سیاهچاله:

برای بررسی این موضوع لازم است مقدماتی چند از فیزیک را با خود مرور کنیم تا به نتایج مورد نظر برسیم، اولین مسئله‌ای که در اینجا طرح می‌کنیم این است که بر طبق نظریاتی فیزیک که خلقت را از عدم می‌داند لذا چون در ابتدای عالم انرژی صفر بوده است لذا کماکان می‌بایست که هیچ و یا صفر باشد ولی این چگونه ممکن است این قانون به نام قانون پایستگی انرژی موسوم است برای تحقیق این موضوع دو گلوله را در نظر بگیرید که به وسیله فنری به هم متصل شده‌اند



این دو گلوله به واسطه نیروی فتر به سوی همدیگر کشیده می‌شوند که به مثابه نیروی گرانشی بین دو جرم است با این تفاوت که اگر این دو گلوله را از هم دور کنیم نیروی کششی بین آنها زیادت‌ر می‌شود ولی در نیروی گرانشی بنا به قانون کلی گرانش $f = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ هر قدر که دو جرم از هم فاصله می‌گیرند، نیروی گرانشی کمتر و کمتر می‌شود و در بی نهایت فیزیکی به صفر گرایش پیدا می‌کند و هر قدر دو جرم به هم نزدیک می‌شوند نیرو افزایش می‌یابد حال اگر به جای نیرو، انرژی پتانسیل را در نظر بگیریم با افزایش فاصله دو جرم $E_p = G \frac{m_1 m_2}{r}$ ، انرژی پتانسیل هم کاهش و به سوی صفر گرایش پیدا می‌کند، پس قبل از اینکه انرژی پتانسیل به صفر برسد ما انرژی مثبت به سیستم داده ایم دو جرم را از هم دور کرده ایم تا به صفر برسد پس لاجرم قبل از این انرژی سیستم منفی بوده که اعمال انرژی مثبت به صفر پس نتیجه می‌شود که انرژی منسوب به گرانش انرژی منفی می‌باشد.

با احتساب این نکته مجموع انرژی‌ها ی مثبت و منفی جهان در نهایت باید صفر باشد چنانچه ریچارد فاینمن در محاسبات خود اعلام کرده بود که

جالبست که اگر چنانچه انرژی پتانسیل عالم را حساب کنیم $E_p = G \frac{M^2_A}{r}$ با انرژی کل عالم که $E = m_A c^2$ بدست می‌آید برابر است لذا طبق نظر

فاینمن $M_A c^2 = G \frac{M^2_A}{r}$ می‌باشد این ایده همان حالت است که ما مجموع انرژی‌ها ی عالم را برابر با صفر بدانیم به این لحاظ می‌توان نوشت

$$R = \frac{GM_A}{C^2}$$

براین اساس شعاع کل عالم می‌بایست برابر باشد که در فیزیک سیاهچاله‌ها به آن شعاع شوارزشیلد می‌گفتیم که برابر بود با $R = \frac{2GM}{c^2}$. مشابهت زیادی با هم دارند البته این مسئله خالی از انتظار نبود چرا که در شعاع شوارزشیلد هم ما عملاً مقدار پتانسیل جرم را با انرژی جنبشی مساوی قرار دادیم و سرعت فرار و شعاع شوارزشیلد را حساب کردیم اما در اینجا می‌توان تعبیر خاص انجام داد و آن این است که طبق محاسبات انجام شده مقدار شعاع شوارزشیلد عالم باید حدود $10^{27} \times 1/5$ متر بدست بیاید چرا که مقدار جرم عالم با احتساب ماده تاریک از مرتبه $10^{54} \times 3/3$ کیلوگرم مورد توافق قرار گرفته است پس شعاع بدست آمده از عالم فعلی کمتر از این مقدار است و کیهان باید تا رسیدن به شعاع شوارزشیلد خود منبسط شود.

پس بنابراین نظریه انبساط کیهان یک انبساط طبیعی و منطقی است و احتیاجی به فرضیه انرژی تاریک وجود ندارد، برای توضیح این مسئله می‌توان به حباب صابون نگاهی بکنید در حباب صابون خود سطح حباب در حالی قرار می‌گیرد که کمترین حالت پتانسیل را دارد و حالتی است که فشار هوای داخل حباب مانع از رمبش آن می‌شود و در حالت پایداری می‌رسد اگر کوچکتر از حالت تعادل باشد به آن حد خواهد رسید و از آن هم بزرگتر نخواهد شد.

طبق این فرض جهان وقتی در حالت فعلی هنوز به حالت تعادل از نظر انرژی نرسیده پس شروع به انبساط می‌کند تا به حد شعاع شوارزشیلد برسد وقتی به حد شعاع شوارزشیلد رسید ممکن است از این حد هم بیشتر منبسط شود ولی در نهایت انبساطش متوقف و شروع به انقباض می‌کند و در حد شعاع شوارزشیلد متوقف می‌شود در حقیقت با این نظریه ما درون

یک سیاهچاله در داخل یک شعاع شوارزشیلد و افق رویداد قرار داریم پس آنچه مشاهده می‌کنیم در اصل داخل یک سیاهچاله است و افق رویداد، آنچه مشاهده می‌کنیم حرکت و انبساط کیهان به سوی افق رویداد کیهان است برای درک این موضوع می‌بایست نظریه گرانش اصلاح شده را بررسی کنیم نظریه گرانش اصلاح شده نظریه‌ای است که خاطر نشان میکند که در ابعاد کوچک باید تغییری اتفاق بیفتد و در مقیاس بزرگ همان نظریات نسبیت عام و گرانش پابرجا می‌باشد.

برای توضیح این اصطلاحات دوباره به گلوله‌ها و فنر بینشان باز می‌گردیم وقتی دو گلوله در فاصله‌ای از هم قرار دارند که فنر در حال تعادل است، این سیستم در حال پایدار خود قرار دارد اگر چنانچه به هر ترتیبی این تعادل به هم بخورد، سیستم واکنش نشان می‌دهد، اگر چنانچه دو گلوله را از هم دور کنیم نیروی گرانشی بین دو گلوله مشهود است و هر قدر که این دو گلوله دورتر شوند تشدید می‌شود و اگر چنانچه دو گلوله را به هم نزدیک نماییم باز هم سیستم در جهت رسیدن به تعادل عمل می‌کند اما در این دفعه نیروی دافعه در سیستم دیده می‌شود.

در مقایسه این سیستم با نیروی گرانش می‌توان این گونه عنوان نمود در یک سیستم گرانشی در شعاعی موسوم به شعاع شوارزشیلد که تعریفش قبلاً ذکر شد سیستم به حالت تعادل می‌رسد و یک سیستم گرانشی همواره سعی دارد که در این منطقه به پایداری مطلوب برسد اگر شعاع شوارزشیلد از اندازه سیستم کوچکتر باشد و سیستم خیلی فراتر از آن باشد لاجرم خود را به صورت جاذبه نشان می‌دهد ولی اگر چنانچه سیستم کوچکتر از شعاع شوارزشیلد باشد لاجرم ما این نیرو را صورت دافعه ملاحظه خواهیم کرد.

مثلاً برای سیستم زمین، شعاع شوارزشیلد آن به اندازه ۲ سانتی متر است پس مادامی که سیستم آن فراتر از این اندازه است ما شاهد گرانش

خواهیم بود و سیستم خورشید، شعاع شوارزشیلدش ۳ کیلومتر است و برای ما انسان‌ها در حدود 10^{-36} خواهد بود در اکثر سیستم‌ها یی که در طبیعت می‌بینیم شعاع سیستم فراتر از شعاع شوارزشیلد است پس گرانش عمومی مشهود است ولی در مواردی هم مثل داخل یک سیاهچاله و یا کیهان کوچکتر از این شعاع بوده لذا ماده برای رسیدن به تعادل یک حالت دافعه‌ای دارد و به سوی افق رویداد در حال حرکت کردن است بدون احتیاج به وجود انرژی تاریک پس لاجرم جرم به سوی افق رویداد حرکت می‌کند. عده‌ای اشکال بر این نظر وارد کردند که با محاسبات که همه چیز در سیاهچاله به سوی نقطه تکینه در حرکت است در تضاد است، اولاً کسی داخل سیاهچاله را ندیده و ثانیاً در اینجا همان نیروی طبیعی گرانش است اما در حالت کمتر از شعاع شوارزشیلد، پس نقطه تکینه‌ای وجود ندارد و ماده در افق رویداد قرار دارد پس مساله پارادوکس اطلاعات در اینجا منتهی می‌شود چرا که اطلاعات به درون نقطه تکینه سقوط نمی‌کند که از بین برود بلکه در افق رویداد متمرکز است و می‌تواند توسط تابش‌ها و کینگ به بیرون منتقل شود.

پس طبق این تعریف از گرانش، ما در درون سیستم‌ها یی که از حد شوارزشیلد خود کوچکتر هستند به جای جاذبه گرانشی از دافعه گرانشی صحبت می‌کنیم طبق این تعریف گرانش صرفاً یک نیروی یک طرفه نیست که فقط عامل جذب باشد بلکه مأموریت آن بیش از آن است که تا به حال تصور می‌شد نه تنها عامل سقوط سیب به زمین و یا عامل تعادل منظومه شمسی می‌باشد بلکه عامل به وجود آمدن کیهان و کنترل کننده آن تا رسیدن به حد شوارزشیلد آن هم می‌باشد. از آنجا که کیهان هنوز به حد شوارزشیلد خودش نرسیده لاجرم در ابعاد خود کیهان با شتابی تندشونده به سوی افق رویداد در درون کیهان احساس می‌کنیم و این نظر به بسیاری از

سوالات و مجهولات جواب قانع کننده می‌دهد مثلاً وجود انرژی تاریک از معضلات امروزه کیهان شناسی و گریبانگیر نسبیت عام است را مرتفع می‌سازد احتیاجی به فرضیه انرژی تاریک نیست و از سوئی می‌توانیم مساله مسطح بودن کیهان را توجیه کنیم یعنی چرا برای کیهان به شکل عجیبی، چگالی جرم و انرژی دقیقاً روی عدد خاصی تنظیم شده‌اند که به یک کیهان مسطح منجر می‌شود.

برای رسیدن به این موضوع رجوعی به معادلات (فریدمن - روبرتسون - واکر) می‌اندازیم، انرژی حال حاضر عالم را اگر $E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GM \cdot m}{R}$ در نظر بگیریم، از قانون بقای انرژی نتیجه حاصل می‌شود که انرژی عالم در وقتی که چند میلیارد سال دیگر بر عالم بگذرد با انرژی حال حاضر می‌یابد یکی باشد ($E=E$).

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{GM \cdot m}{R} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{R}$$

با افزایش ابعاد جهان رفته رفته R خیلی بزرگتر از R می‌شود، پس $\frac{GM \cdot m}{R}$ قابل صرف نظر کردن است.

با بازنویسی عبارت فوق $R_H = \frac{\sqrt{GM_U}}{c^2}$ بدست می‌آید که همان شعاع شوارزشیلد است پس لاجرم می‌توان گفت که کیهان مسطح، شعاعی برابر شعاع شوارزشیلد آن دارد پس با این فرض گرانش اصلاح شده معمایی تخت بودن فضا بدون متوسل شدن به نظریه تورمی حل می‌شود.

با فرض گرانش اصلاح شده از جمله مواردی که بدان دست پیدا می‌کنیم عدم وجود نقطه تکیه است که فیزیک را به چالش جدی مواجه کرده و نظریات نسبیت و کوانتوم را به مبارزه می‌طلبد با این فرض که در درون افق

رویداد نیرو به جای اینکه به مرکز متمرکز شود به سوی افق رویداد است و جرم به جای تمرکز در مرکز در افق رویداد متمرکز پیدا می‌کند، چالش نقطه تکینه حل می‌شود و درون یک سیاهچاله به جای یک محیط پر آشوب محیطی آرام به نظر می‌رسد مثل یک توده گردبادی که در بیرون آشوبی به پا می‌کند ولیکن در درون آن محیطی آرام حکم فرماست و به جای نقطه تکینه، لایه داریم

اما نکته اینجا این است که آیا می‌شود که کیهان خود سیاهچاله باشد؟
می‌دانیم که به ازای هر مقدار چگالی می‌توانیم به شرایطی برسیم که شعاع کمتر از شعاع شوارزشیلد باشد فقط کافی است، شعاع را به قدر کافی بزرگ کنیم، از آنجا که جرم یک جسم کروی از رابطه $M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ و شعاع شوارزشیلد آن از رابطه $R_s = \frac{2GM}{c^2}$ به دست می‌آید این رابطه نشان می‌دهد که $M \propto R^3$ و $R_s \propto M$ می‌باشد به عبارت دیگر اگر شعاع کیهان دو برابر شود، جرم و شعاع شوارزشیلد آن ۸ برابر می‌شود لذا به ازای هر مقدار چگالی ρ اگر شعاع به صورت مداوم افزایش یابد در نهایت شعاع شوارزشیلد از

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{GmM}{R} = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v^2 = v_{\infty}^2 - \frac{2GM}{R}$$

$$M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho \Rightarrow v^2 = v_{\infty}^2 - \frac{2G}{R} \left(\frac{4}{3}\pi R^3 \rho \right)$$

$$v^2 = v_{\infty}^2 \left(1 - \frac{R^3 \rho \cdot 8\pi G}{3v_{\infty}^2} \right)$$

بر اساس $V_{\cdot} = HR_{\cdot}$

$$v^{\cdot} = v^{\cdot} \left(1 - \frac{\frac{P_{\cdot}}{\lambda \pi G}}{3H^{\cdot}} \right)$$

به $P_C = \frac{3H^{\cdot}}{\lambda \pi G}$ چگالی بحرانی می‌گویند. اگر چنانچه $P_C = P_{\cdot}$ باشد

جهان جهانی تخت خواهد بود پس می‌توان نوشت $P_{\cdot} = \frac{3H^{\cdot}}{\lambda \pi G}$ برای بدست

آوردن جرم عالم از این فرمول $M_U = \frac{3H^{\cdot}}{\lambda \pi G} \frac{\xi}{3} \pi R_H^3$ پس طبق قانون‌ها بل و

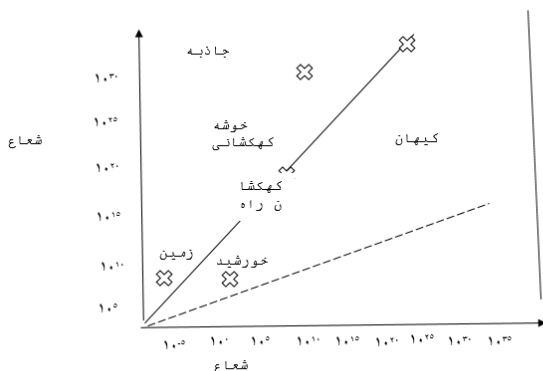
بنا به فرض اینکه اگر ذرات و ماده به افق رویداد برسند سرعت آنها به سرعت نور نزدیک می‌شود می‌توان نوشت، $H = \frac{c}{R_H}$ پس لاجرم داریم

$$M_U = \frac{3C^{\cdot}}{\lambda \pi G R_H^{\cdot}} \times \frac{\xi \pi R_H^3}{3}$$

شعاع واقعی بیشتر می‌شود و جسم تبدیل به سیاهچاله خواهد شد وقتی برای جسمی با چگالی ثابت اگر حجم آن به قدر کافی بزرگ باشد مستقل از مقدار چگالی قطعاً تبدیل به سیاهچاله خواهد شد پس کیهان ما به شعاع بی‌نهایت بزرگ توان تبدیل به یک سیاهچاله را دارد

در نظریه ریسمان که به جای ذره‌ای بی بعد ذرات دارای ابعاد و حتی پوسته‌ها بی تصور می‌شود که طنین اثرات آنها در دیگر ابعاد قابل بررسی

می‌باشد خاطر نشان می‌شود برای توضیح اینکه چرا در کیهان اثرات شتاب تند شونده در انبساط دیده می‌شود، این گونه استدلال می‌شود که ابعاد کیهان به گونه‌ای است که در ابعاد دور، نیروی موسوم به گرانش به ابعاد دیگر نشت پیدا می‌کند و این نشتی در فاصله‌ها ی دور عامل کم شدن اثرات گرانشی و در نتیجه سرعت بالای انبساط کیهانی می‌شود، و فاصله‌ای که این نشتی کیهانی خودش را نشان می‌دهد و یا باصطلاح گرانش به صورت معکوس عمل می‌کند با آنچه نظریه اصلاحی گرانشی خاطر نشان می‌کند یکسان است.



این نمودار شعاع اجسام سماوی مختلف با مقیاس‌ها ی متفاوت به نسبت شعاع شوارزشیلد آن‌ها را نشان می‌دهد در این نمودار می‌توانیم ببینیم که چه موقع گرانش به صورت جاذبه و چه موقع به صورت دافعه عمل خواهد کرد. این نمودار نشان می‌دهد که اجسام همگی تقریباً روی یک خط مستقیم قرار دارند که متناظر با چگالی ثابت اتمی است و به صورت نقطه چین دیده می‌شود

در اغلب نقاط نمودار، شعاع جسم از شعاع شوارزشیلد آن بزرگتر است و گرانش به صورت جاذبه ظاهر می‌شود اما در ناحیه سایه دار شعاع جسم، زیر شعاع شوارزشیلد آن قرار گرفته و انتظار مشاهده دافعه گرانشی خواهیم داشت، همان طور که مشاهده می‌کنید تنها کیهان به عنوان یک جسم کلی در این ناحیه قرار دارد لذا تنها تمام کیهان است که دافعه گرانشی را تجربه می‌کند و نظریه ریسمان‌ها و M ، مقیاس عبوری خود را حدود 10^{21} متر پیشنهاد می‌دهند که مشاهده می‌کنید که به مقدار بدست آمده در نمودار بالا بسیار نزدیک است.

اگر سیاهچاله‌ای به جانب منظومه شمسی بیاید چه اتفاقی می‌افتد؟

وَ آيَةٌ لَهُمْ أَنَّا حَمَلْنَا ذُرِّيَّتَهُمْ فِي الْفُلِكِ الْمَشْحُونِ ٤١ وَ خَلَقْنَا لَهُمْ مِنْ مِثْلِهِ مَا يَرْكَبُونَ ٤٢ وَ إِن نَّشَاءُ نَغْرِقْهُمْ فَلَا صَرِيخَ لَهُمْ وَ لَا هُمْ يُنْقَذُونَ ٤٣ إِلَّا رَحْمَةً مِنَّا وَ مَتَاعًا إِلَىٰ حِينٍ

و از جمله نشانه وجود خداوند متعال برای شما این است که شما و خانواده تان را در سفینه‌ای پر و سنگین «زمین» سوار کرده است * مثل همان سفینه‌هایی که خودتان می‌سازید و سوار می‌شوید * و اگر بخواهد هر آینه آن را از مدار خارج خواهد کرد و غرق می‌کند و از بین خواهد برد و در این هنگام از دست هیچ کس، هیچ کاری ساخته نیست * مگر رحمت خداوند دوباره شامل حال شما شود.

اگر سیاهچاله‌ای به جانب منظومه شمسی بیاید چه اتفاقی می‌افتد.

این سرفصل مقاله‌ای جالب است که فرزانه جوان حامد الطافی در مجله نجوم درباره آن بحث می‌کند همان طور که می‌دانیم صرفنظر از سیاهچاله‌های غول که بنیان‌ها ی کهکشان‌ها را استوار میکنند و

کهکشانهای ریز، کهکشانهایی که در اثر تحول ستاره‌ای به وجود می‌آیند و اجرایی حدود چهار برابر بزرگتر از خورشید هستند می‌توانند گزینه‌ای باشند که چون ستارگان به گرد مرکز کهکشان راه شیری در حال حرکت هستند و دینامیک آنها در این سیستم همان دینامیک سایر ستارگان در کهکشان محسوب می‌شود.

در این فرض، اشاره می‌کنیم اگر یکی از این سیاهچاله‌های سرگردان، اگر ناگهان به نزدیک منظومه شمسی حرکت کند و به سوی آن بیاید چه اتفاقی خواهد افتاد.

در این حرکت اگر از نزدیک ستارگان نزدیک به خورشید از جمله شاهنگ یا آلفا قنطورس عبور کند، قطعاً در مدار حرکتی آنها مؤثر بوده اما این تغییرات که در مدار آنها رخ می‌دهد قریب چهار سال در راه خواهد بود تأخیرش به ما برسد، اگر در فاصله یک سال نوری از خورشید قرار گیرد ابر اورت برخورد خواهد کرد که این ابر چونان گوی بلوری منظومه شمسی را در برگرفته است، با نزدیک شدن این سیاهچاله به این ابر اختلال در حرکت اجسام سازنده آن به وجود خواهد آمد و منجر به بوجود آمدن دنباله دارهای فراوانی خواهد شد که به سوی منظومه شمسی هجوم می‌آورند و هر کدام از آنها می‌توانند با برخوردشان به زمین سرانجامی چون، سرانجام دایناسورها برای انسان به ارمغان بیاورند، اگر به هر ترتیب زمین از این بمب باران سالم بیرون بیاید و سیاهچاله نزدیک شود، با ورود آن به داخل منظومه شمسی سیارات غول آسا را تحت تأثیر خود قرار داده و علاوه در اختلال در مدار آنها، گازهای آنها را به سوی خود می‌کشد و این گازها چون یک ابر بر افزایشی در اطراف سیاهچاله شروع به گردش می‌کنند و در نهایت سیارات خارجی را از حالت سیاره بودن خارج و یک توده قرص مانند گازی و داغ مبدل خواهد نمود و اگر باز هم نزدیکتر شود به کمر بند سیارک‌ها رسیده

و کمر بند کوپیر سنگ بارانی از این صخره‌های عظیم که از مدار خارج شدند را تجربه خواهیم کرد و حتماً این بار زمین مورد هجوم آنها قرار خواهد گرفت و با نزدیک تر شدن آن به زمین در اثر کشندهای عظیم، زمین لرزه‌های عظیم و آتشفشان‌ها به وجود خواهند آمد چرا که در اثر جزرومد روی طبقات مختلف زمین و سایش آنها روی هم گرما در داخل زمین به وجود آمده و داخل زمین را داغ میکند و این داغ شدن منجر به بوجود آمدن آتشفشان و زمین لرزه‌های عظیم خواهد شد و در نهایت زمین به غیر زمین تبدیل می‌شود به توده‌ای ماگمایی و سکونت ناپذیر تبدیل می‌شود و وضعیت زهره و عطارد همین خواهد بود و جنگ نهایی جنگ نهایی سیاهچاله و خورشید است.

ممکن است خورشید در این جنگ که بستگی به جرم سیاهچاله دارد به صورت گازی در دام همان قرص بر افزایشی شود و اندک اندک به غبار و گازی که در اطراف سیاهچاله است پیوندد و به سرنوشت سیاراتش دچار شود این قرص برافزایشی صدها هزار یا حتی میلیون‌ها کیلومتر دورتر از مرکز سیاهچاله گسترش خواهد یافت و منظومه شمسی را به جهنمی چرخان از محیطی که دیگر سکونت پذیر نیست مبدل خواهد نمود.

منابع:

- ۱- سیاهچاله‌ها / کاترین بلاندل / شادی حامدی آزاد
- ۲- معادله جهان / اندو توماس / احسان بدریکوهی
- ۳- سیاهچاله‌ها / مسعود خیام
- ۴- نظریه همه چیز / استفن هاو کینگ / ابوالفضل حقیری
- ۵- هاو کینگ و سیاهچاله‌ها / پل استراترن / ترجمه ابوالفضل حقیری
- ۶- سیاهچاله‌ها / پی. کی. ر. تاونسند / پرفسور علی عجب شیرزاده، بهروز ابراهیمی
- ۷- مجله نجوم / ۲۳۳ / اسرار سیاهچاله‌ها / حامد الطاقی
- ۸- Blach Holes/Townsend.Pk S.RaHVar, R.Mansouri. phys , Dev. D۲۰۰۱-۶۰/۱۲۳۵۱۲
- ۹- The Theory of every thing , the origin and fate of the universe / Stephen Hawking
- ۱۰- Hidden plainsight ۲: the equation of the unives / tomas , Andrew
- ۱۱- Black Holes: Avery short intreduction Katherine Blundell
- ۱۲- Flat and curved space – time / George f.r ellis.Ruth M.williams