DOI: doi.org/10.61450/joci.FA.v3iTC1FA.178

چکیده

همزمـان بـا پیشـرفت علـم کیهان‌شناسـی، نظریه‌هـای مختلفـی در مـورد منشـاء جهـان و یـا سرنوشـت نهایـی آن مطـرح شـده اسـت. ایـن نظریه‌هـا عبارتنـد از: حالـتِ پایـدار (Steady-State Theory)، جهـان نوسـانی (Oscillating Universe Theory or Cyclic model)، نظریـهٔ چندجهانـی (Multiverse Theory)، نظریـهٔ ریسـمان (String Theory/M-Theory)، گرانـش کوانتومـی یـا کیهان‌شناسـی کوانتومـی حلقـه‌ای (Quantum Gravity/Loop Quantum Cosmology)، نظریـهٔ بیـگ بنـگ (The Big Bang Theory)، تورم کیهـان (Inflationary Universe Theory) و پروپـوزال جهـان بـدون مـرز (No-Boundary Proposal) کـه در میـان ایـن نظریـات بیگ‌بنـگ مـورد قبـول اکثـر دانشـمندان قـرار گرفتـه و نظریـهٔ تـورم نیـز تکمیـل کننـدهٔ آن بـوده اسـت؛ از طـرف دیگـر نظریه‌هایـی همچـون جهـان بـاز (Big rip)، جهـان تخـت (Flat universe) و جهـان بسـته (Big crunch) نیـز بـه سرنوشـت نهایـی کیهـان پرداخته‌انـد. امـا کیهان‌شناسـی شـعوری بـا ارائـه فرضیـه‌ای جدیـد، پیدایـش جهـان را از سـیاهچاله‌ای بـه نـام سـیاهچالهٔ کیهانـی کـه همـان نطفـهٔ آغازیـن جهـان اسـت معرفـی می‌کنـد. ایـن فرضیـه نـه تنهـا بـه نحـوهٔ تشـکیل ایـن نـوع خـاصِ سـیاهچاله کـه منـوط بـر بازگشـت کیهـان طبـق مـدل کیهـان کـروی اسـت می‌پـردازد؛ بلکـه تفاوت‌هـای اساسـی آن را بـا سـیاهچاله‌های شـناخته شـده کـه آنهـا را سـیاهچاله‌های درون کیهانـی می‌نامـد، بیـان می‌کنـد. بازگشـت کیهـان در مـدل کیهـان کـروی بـا فرضیـهٔ جهـان بسـته یـا همـان Big Crunch کامـلا متفـاوت اسـت و بـا مکانیسـمی بـه نـام واگـرد فضـا توصیـف می‌شـود. لبـهٔ نهایـی کیهـان نیـز بـه عنـوان حداکثـر شـعاعی کـه توری‌هـای فضـا طـی افزایـش حجـم جهـان قـادر بـه واگـرد هسـتند، معرفـی می‌شـود. مطابـق ایـن مـدل، اجـرام کیهانـی بـا پایـان واگـرد فضـا، بـا اضمحـلال کامـل مواجـه شـده و تبدیـل بـه امواجـی بـه نـام امـواج مطلـق می‌شـوند کـه ایـن امـواج بـه خاطـر چرخـش ذاتـی کیهـان و بازگشـت از لبـهٔ نهایـی، بـا برخـورد بـه یکدیگـر و ایجـاد مراکـز گرانشـی در نواحـی مرکـزی کیهـان کـروی، انـواع جدیـدی از مـاده بـه نـام مـادهٔ روشـنِ تاریـک و مـادهٔ تاریـکِ تاریـک و مـادهٔ حرارتـی را تشـکیل می‌دهنـد کـه هرکـدام از ایـن ماده‌هـای نـام بـرده شـده نـوع جدیـدی از مـاده هسـتند کـهَ توسـط کیهان‌شناسـی شـعوری معرفـی می‌شـوند. در ایـن مـدل بیـان می‌شـود کـه کیهـان بـا یـک کوئنـچ نهایـی در یـک نقطـهٔ بینهایـت کوچـک منقبـض شـده و همـهٔ انـواع مـاده و نیروهـای بنیادیـن بـه وحـدت رسـیده و تشـکیل مـادهٔ در وحـدت یـا همـان مـادهٔ مطلـق جدیـد بـه نـام (TAM) یـا Taheri Absolute Matter را می‌دهنـد. همچنیـن کیهان‌شناسـی شـعوری زمـان را بـه انـواع مختلـف زمـان طولـی و زمـان عرضـی تقسـیم‌بندی می‌کنـد و برخـلاف نظریـهٔ نسـبیت کـه زمـان در آن بـه عنـوان یـک بُعـد در نظـر گرفتـه می‌شـود، در ایـن دیـدگاه بـه عنـوان یکـی از انـواعِ زمـانِ عرضـی دسـته‌بندی شـده و بـه شـکل نیـروی آنتروپیایـی معرفـی می‌شـود. بـه عبارتـی ایـن نـوع نیـرو (زمـان) بـر علیـه نیـروی گرانـش عمـل کـرده و بـا اضمحـلال انـواع اجـرام از بنیادیـن گرفتـه تـا بـزرگ مقیـاس، عامـل رهایـیِ اسـترس یـا تنـش، از توری‌هـای فضـا می‌شـود.

کلیدواژه‌هـا : سـیاهچالهٔ کیهانـی، مـدل کیهـان کـروی، واگـرد کیهـان، لبـهٔ نهایـی کیهـان، امـواج مطلـق، چرخـش ذاتی کیهـان، مادهٔ روشـن تاریـک، مادهٔ تاریـک تاریـک، مـادهٔ جدیـد حرارتـی، مادهٔ مطلـق یا (TAM)، زمـان طولی، زمان عرضـی، نیروی آنتروپیایی زمان، اسـترس یـا تنش فضا، کوئنـچ نهایی کیهان.

سیاهچاله کیهانی

نظریه‌های مختلف در مورد آغاز جهان (کیهان‌شناسی رایج)

مقدمه

منشأ جهان یا چگونگی پیدایش آن و همچنین سرنوشت نهایی کیهان همواره یکی از جذاب‌ترین و چالش برانگیزترین سؤالات علم و فلسفه بوده است. برای پاسخ به این چالش می‌توان گفت که پایهٔ بسیاری از فرضیات علم کیهان‌شناسی درگذشته، برگرفته از کشف و شهود یا فلسفه بوده که در این رابطه نظریات مختلفی نیز مطرح شده است. نکتهٔ حائز اهمیت اینجاست که صحت هر کدام از این نظریات باید با مشاهدات رصدی مورد آزمایش قرار بگیرند.

نظریات دیگری همچون جهان باز یا جهان بسته و جهان تخت نیز احتمالاتی که کیهان در آینده با آن مواجه خواهد شد را مطرح می‌کنند. در مقابل، نظریهٔ بیگ‌بنگ آغاز جهان را توصیف می‌کند که در طول تاریخ مدام در حال تکمیل شدن بوده و علی رغم نواقصی که دارد مورد توافق اکثریت کیهان‌شناسان قرار گرفته است. در دنیای کیهان‌شناسی، چندین نظریه به غیر از بیگ‌بنگ نیز در مورد آنچه قبل از انفجار بزرگ رخ داده و یا چگونه جهان زندگی خود را آغاز کرده است مطرح شده که تا به امروز هیچ یک از آنها به طور قطعی به اثبات نرسیده و یا به طور گسترده پذیرفته نشده است. از جملهٔ این نظریات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

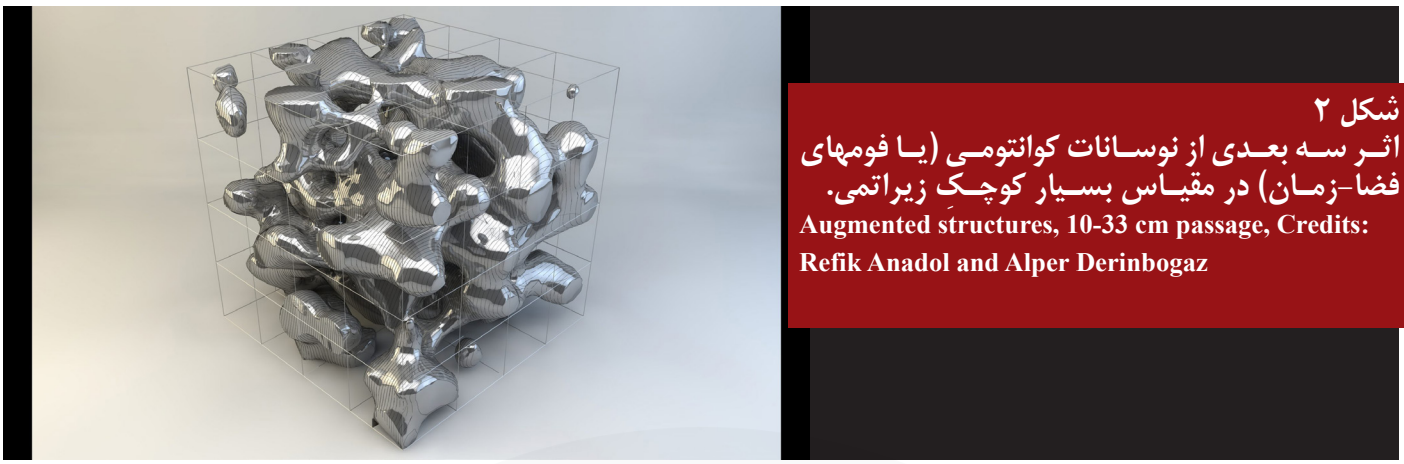
شکل ۱
نظریهٔ تورم در مدل بیگ بنگ

۱- تورم کیهانی(Cosmic inflation)

این نظریه نشان می‌دهد که جهان در اولین لحظات تولد که در حالت انرژی ناپایدار قرار گرفته بود، تحت یک تورم بسیار سریع قرار گرفته است. به عبارتی جهان در کسری از ثانیه چندین برابر افزایش حجم داشته که علت این امر شکل مرموزی از انرژی است که در فضای خالی نفوذ می‌کند. نظریهٔ تورم برخی از موضوعات مبهم همانند توزیع یکنواخت انرژی و هندسهٔ مسطح فضا-زمان را پیش‌بینی می‌کند. در واقع در این نظریه بیان می‌شود که تورم، بی‌نظمی‌های اولیه را هموار کرده و پایهٔ ساختارهای کیهانی را که در عصر حاضر آنها را رصد می‌کنیم ایجاد کرده است. تورم با انفجاری از تشعشعات به پایان رسید که این تشعشعات امروزه به عنوان تابش پس‌زمینهٔ مایکروویو کیهانی آشکارسازی می‌شوند. [۱,۲] (شکل ۱)

۲- نوسانات کوانتومی(Quantum fluctuations)

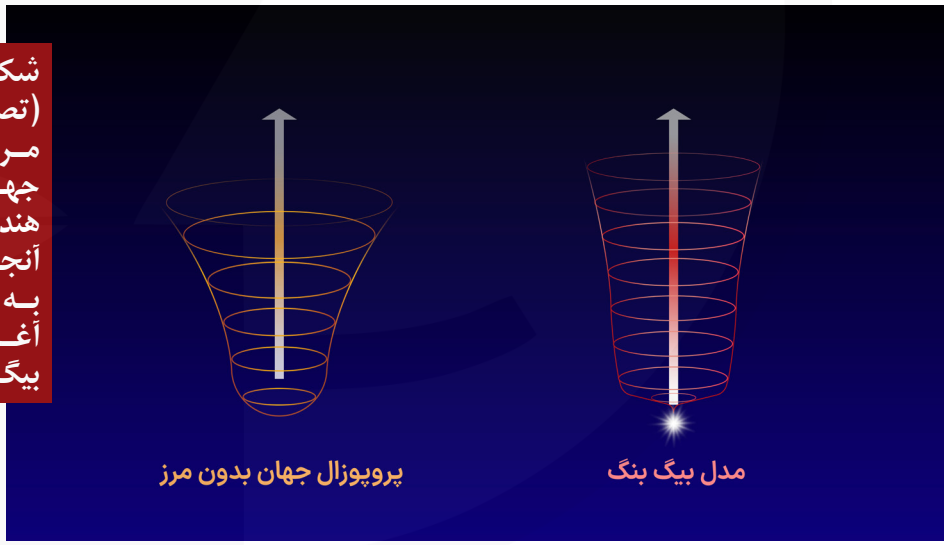
نوسانات کوانتومی مبتنی بر اصول مکانیک کوانتومی است. این نظریه نشان می‌دهد که شاید جهان توانسته از نوسانات کوانتومی در خلاءِ فضایِ خالی، سرچشمه گرفته باشد که اغلب از آن به عنوان نیستیِ کوانتومی (Quantum nothingness) یاد می‌شود. به عبارتی نوسانات می‌توانند باعث ایجاد جفت ذرات و پاد ذرات شوند که خود این امر به طور بالقوه می‌تواند منجر به ایجاد کل جهان شود. طبق این نظریه در کیهان اولیه، نوسانات کوانتومی در طول دورهٔ تورم، تغییرات بی‌نهایت کوچک را به تفاوت‌های قابل توجهی در توزیع ماده در مقیاس‌های کیهانی تبدیل کرده است. این تغییرات، بعدها به عنوان پایه‌ای برای ساختار جهان عمل کردند. به عبارتی نوسانات کوانتومی تغییرات کوچک و تصادفی در میدان‌های انرژی و ماده هستند که همیشه اتفاق می‌افتند. یکی از این نوسانات می‌تواند انفجار بزرگ را آغاز کند و حبابی از فضا-زمان ایجاد کند که در جهان ما گسترش یافته است. [۳,۴,۵] (شکل۲)



شکل ۲
اثر سه بعدی از نوسانات کوانتومی (یا فومهای فضا-زمان) در مقیاس بسیار کوچک زیراتمی.
Augmented structures, 10-33 cm passage, Credits: Refik Anadol and Alper Derinbogaz

۳- جهان بدون مرز(No-boundary proposal)

این نظریه که توسط استیون هاوکینگ و جیمز هارتل برای اولین بار در سال ۱۹۸۳ مطرح شد و بعدها تکمیل گردید، در مورد وضعیت جهان قبل از دوره پلانک است و نشان می‌دهد که نه تنها جهان در یک نقطه زمانی منفرد آغاز نشده است بلکه مرز اولیه نیز ندارد و مبتنی بر این ایده می‌باشد که اگر به گذشتهٔ جهان یعنی لحظهٔ آغاز آن برگردیم، مفهوم زمان منسوخ می‌شود. بنابراین، پیشنهاد جهان بدون مرز نشان می‌دهد که اندازه‌گیری رویدادها قبل از انفجار بزرگ، غیرممکن است. این دانشمندان از یک ابزار ریاضی به نام زمان موهومی (imaginary time) برای توصیف جهان به عنوان یک سطح صاف و چهار بعدی بدون هیچ گونه تکینگی یا لبه استفاده می‌کنند. در این دیدگاه، هیچ تمایز روشنی بین قبل و بعد از انفجار بزرگ وجود ندارد؛ زمان موهومی یک مفهوم ریاضی است که در برخی از نظریه‌های فیزیک مانند مکانیک کوانتومی و نسبیت عام ظاهر می‌شود. به عبارتی این نوع زمان، به ما امکان می‌دهد که تصور کنیم انفجار بزرگی وجود نداشته و آغاز جهان به صورت انتقال آهسته از یک حالت به حالت دیگر صورت گرفته است.[۶,۷,۸,۹] (شکل ۳)

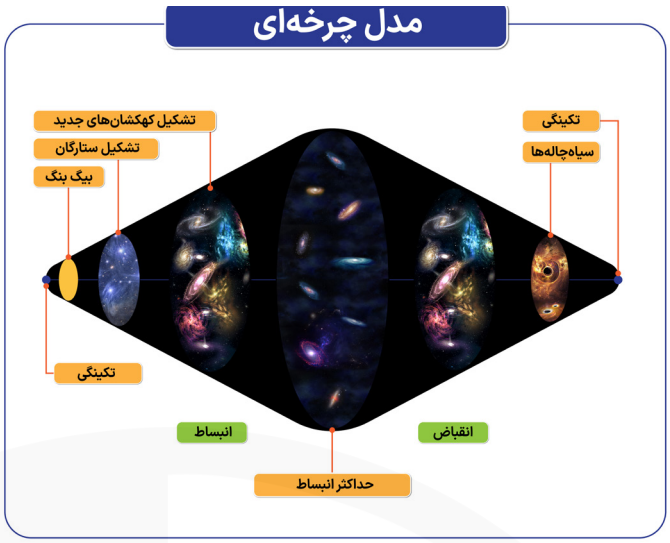


شکل ۳
(تصویر چپ) تصویری از جهان بدون مرز با مقطع فضایی یک بعدی. پیشنهاد جهان بدون مرز بیان می کند که باید هندسه هایی را در نظر گرفت که در آنجا هیچ مرزی وجود ندارد و در گذشته به آرامی گرد شده‌اند. (تصویر راست) آغاز جهان از نقطهٔ تکینه، مطابق نظریهٔ بیگ بنگ.

٤- مدل چرخه‌ای(Oscillating model یا Cyclic model)

در دهۀ ۱۹۲۰ فیزیکدانان نظری به ویژه آلبرت انیشتین، امکان یک مدل چرخه‌ای ابدی برای جهان را به عنوان یک جایگزین برای مدل جهانِ در حال انبساط در نظر گرفتند که این امر منجر به معرفی نظریۀ جهان نوسانی توسط الکساندر فریدمن در سال ۱۹۲۲ شد. این نظریه نشان می‌دهد که جهان به صورت چرخه‌های مکرر، انبساط و انقباض را پشت سر می‌گذارد که هر چرخه با یک Big Crunch یا رمبش بزرگ به پایان می‌رسد و با یک Big bang یا انفجار بزرگ شروع می‌شود. در این نظریه، چرخه‌ها می‌توانند توسط انرژی تاریک هدایت شوند. از دیدگاه کیهان‌شناسی رایج، انرژی تاریک نیرویی ناشناخته‌ای است که باعث شتاب گرفتن انبساط کیهان می‌شود.[۱۰] (شکل۴)

شایان ذکر است که این فرضیات، تنها برخی از سناریوهای ممکن برای آنچه قبل از انفجار بزرگ رخ داده و یا چگونگی شروع جهان است و ممکن است نظریه های دیگر و یا حتی واقعیت‌های متعددی وجود داشته باشند که هنوز کشف یا درک نشده‌اند.



شکل ٤
مفهومی از مدل جهان چرخه‌ای یا نوسانی

همچنین چندین نظریهٔ دیگر همانند نظریهٔ چندجهانی[۶۲ ۶۳]، نظریهٔ حالت پایدار[۶۴]، نظریهٔ ریسمان یا نظریهٔ M[۶۵]، و نظریهٔ کیهان‌شناسی کوانتوم حلقه‌ای[۶۶] نیز مطرح شده‌اند که هر کدام از زاویهٔ متفاوتی به نحوهٔ پیدایش جهان نگاه می‌کنند.

فرضیهٔ سیاهچالهٔ کیهانی یا نطفهٔ آغازین کیهان، پیشنهادی جدید به دنیای کیهان‌شناسی

کیهان‌شناسی شعوری با بررسی ساز و کار کیهان از نگاهی متفاوت، با ارائه مدل کیهان کروی و فرضیاتِ جدید، پیدایش، انبساط و سرنوشت کیهان را از زاویه‌ای متفاوت مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد.

طبق این مدل، جهان میلیاردها سال پیش، از سیاهچاله‌ای به نام سیاهچالهٔ کیهانی متولد شده است؛ به این معنا که همهٔ انواع ماده و انرژی و یا نیروهای بنیادینی که می‌شناسیم، قبل از به وجود آمدن و تشکیل ساختار کیهان امروزی، در وحدت کامل در نقطه‌ای بسیار کوچک، تشکیل 'مادهٔ مطلقی' را داده بوده‌اند که همان محتوای سیاهچالهٔ کیهان است. این سیاهچاله دارای ساختار و تعریف کاملا متفاوتی است که به طور غیر قابل تصوری کوچک بوده و تفاوت‌های عمده‌ای با سیاهچاله‌های شناخته شدهٔ امروزی دارد. به عبارتی کیهان‌شناسی شعوری با معرفی مدل کیهان کروی بیان می‌کند که این نوع سیاهچاله نه تنها آغازیست برای تولد کیهان، بلکه پدیده‌هایی همچون انبساط و تشکیل انواع ماده و انرژی که منجر به ایجاد بیشمار اجرام در کیهان شده، از درون این سیاهچاله آغاز شده است. بنابراین با توجه به مدل کیهان کروی، سیاهچالهٔ کیهانی یا همان نقطهٔ آغازین کیهان، تفاوت‌های عمده‌ای با سیاهچاله‌های شناخته شده دارد.

برای بیان این تفاوت‌ها در ابتدا به تعریف و بررسی سیاهچاله‌های درون کیهان که در علم رایج مطرح شده است، می‌پردازیم.

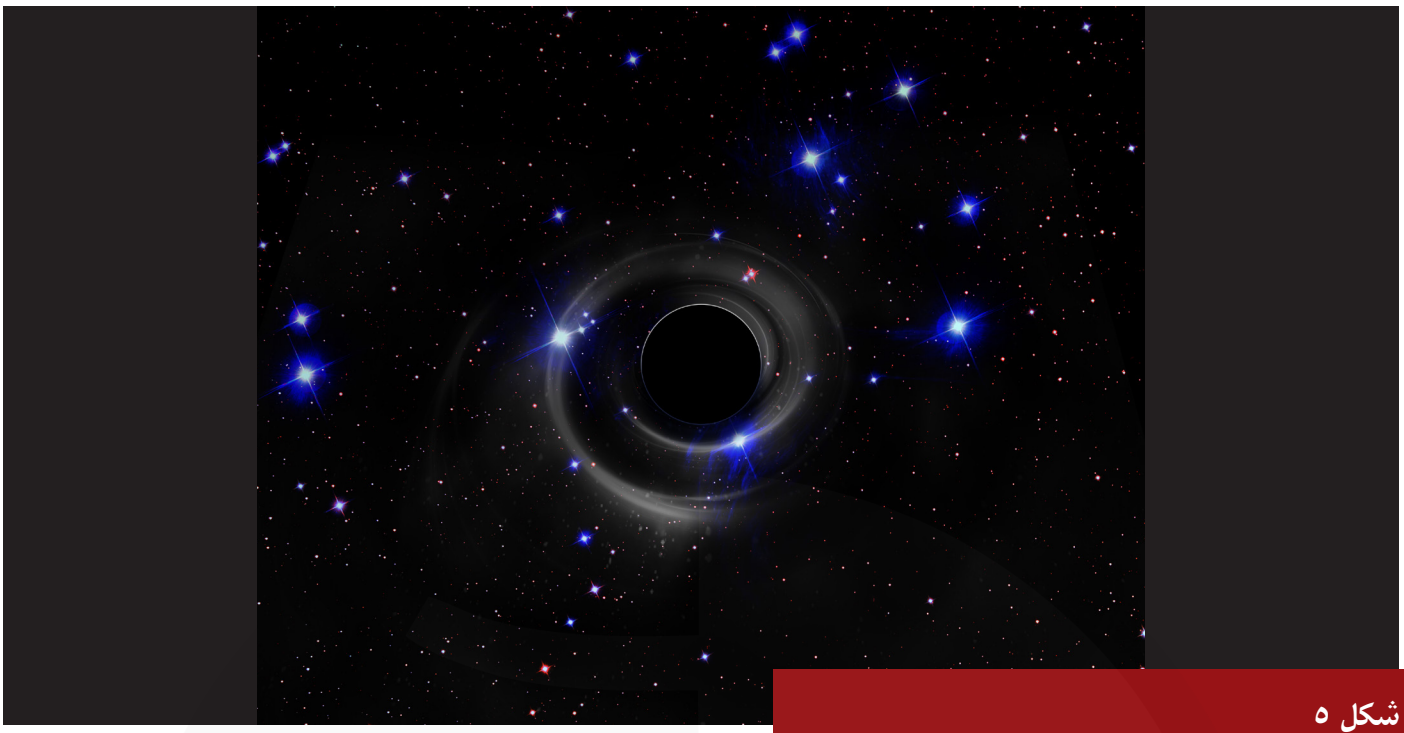
تعریف سیاهچاله:

از دیدگاه کیهان‌شناسی رایج سیاهچاله‌ها نتیجهٔ طبیعی نسبیت عام بوده و ابزار تحلیلی قدرتمندی هستند که با آن، خواص ماکروسکوپی و میکروسکوپی جهان را می‌توان مورد بررسی قرار داد. در واقع سیاهچاله‌ها اجرامی هستند که به دلیل میدان گرانشی بسیار قوی اجازهٔ گریز به نور نمی‌دهند. این اجرام برای اولین بار در سدهٔ ۱۸ میلادی توسط جان میشل و پیر سیمون لاپلاس مورد توجه قرار گرفتند که درنهایت کارل شوارتزشیلد در سال ۱۹۱۶ میلادی، توسط نسبیت عام آلبرت انیشتین توانست ویژگی‌های یک سیاهچاله را توصیف کند.[۱۱,۱۲]

در تعریف ابتدایی سیاهچاله‌ها می‌توان چنین گفت که ناحیه‌هایی از فضا-زمان می‌باشند که در آنجا، پتانسیل گرانشی بیش از حدِ مربع سرعت نور است. به عبارتی طبق نسبیت عام اگر یک جرم به اندازه کافی فشرده شود، می‌تواند سبب خمیدگی و تغییر شکل فضا-زمان و تشکیل سیاهچاله شود. افق رویداد یک سیاهچاله نیز مرز کروی بیرونی آن است که اغلب به عنوان سطح آن در نظر گرفته می‌شود و ناحیه‌ای در اطراف سیاهچاله است که در آن ناحیه، تأثیر گرانش آنقدر زیاد می‌شود که حتی نور نیز قادر به فرار نمی‌باشد.[۱۳,۱۴]

صفت «سیاه» در نام سیاهچاله‌ها برگرفته از این واقعیت است که همهٔ نوری که از افق رویداد آن می‌گذرد به دام می‌افتد. بنابراین سیاهچاله رفتاری شبیه به جسم سیاه در ترمودینامیک پیدا می‌کند. [۱۵,۱۶]

به خاطر همین رفتار، معمولاً برای شناسایی یک سیاهچاله از نحوهٔ حرکت اجسام اطرافِ آن، کمک گرفته می‌شود. به طوریکه اگر در ناحیه‌ای از فضا، اجرامی همانند ستارگان و یا سیارات وجود داشته باشند که در مسیر حرکتی یک سیاهچاله قرار گرفته‌اند، در این صورت تمامی آن اجرام در صورت نزدیک بودن به سیاهچاله، به درون آن مکیده خواهند شد و یا تصاویر ثبت شده از آنها که ظاهرا پشت سیاهچاله قرار دارند، با اعوجاج همراه خواهد بود. (شکل۵)

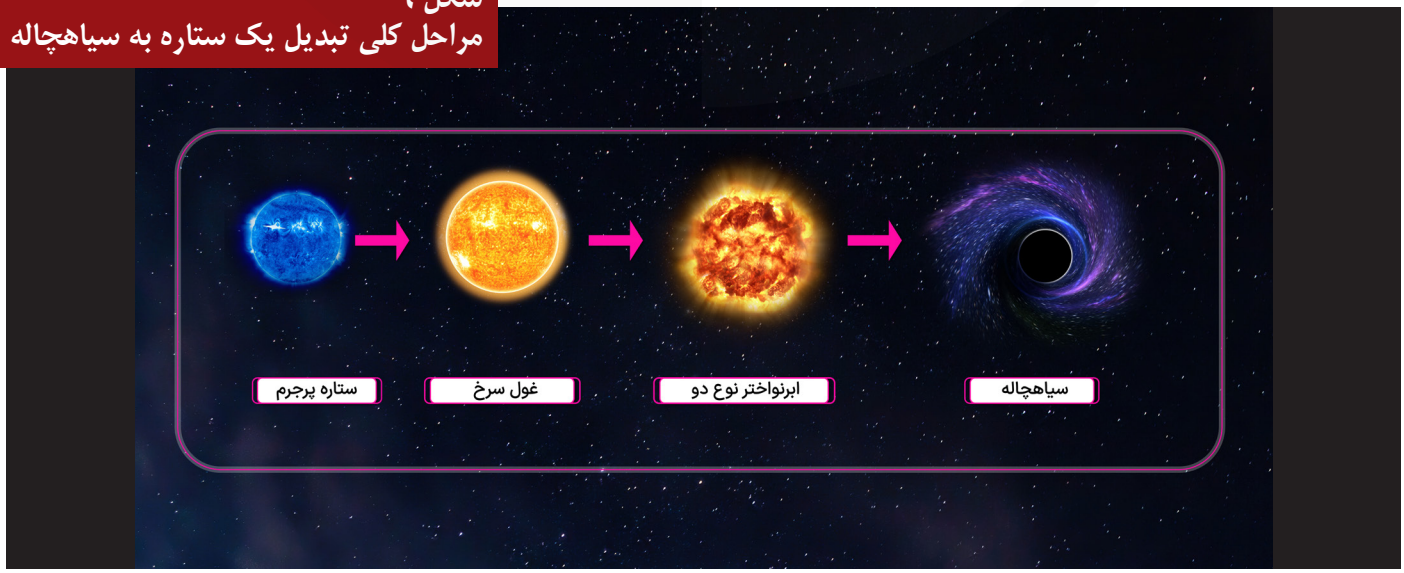


شکل ۵
تصویر هنری از یک سیاهچاله سرگردان در فضا

سیاهچاله‌ها اغلب از مرگ ستارگان پرجرم تشکیل می‌شوند. در واقع زمانی که این نوع ستارگان به پایان زندگی خود می‌رسند، انفجارهای عظیمی را منجر می‌شوند. مکانیسم این انفجارها بدین صورت است که به خاطر داغی بسیار زیاد علاوه بر هیدروژن و هلیم، کربن، اکسیژن و سیلیس نیز به عنوان سوخت هسته‌ای در درون این ستارگان می‌توانند بسوزد و در نهایت با همجوشیِ مستمر، منجر به تولید آهن می‌شوند. آهن پایدارترین هسته در میان عناصر است که به سادگی در همجوشی شرکت نمی‌کند. در واقع این عنصر آخرین اتمی است که هستهٔ یک ستارهٔ به شدت داغ، می‌تواند تولید کند و به معنی پایان روند همجوشی هسته‌ای در آن است. نبود سوخت برای همجوشی، منجر به کاهش دما در ستاره شده و این امر سبب افزایش سرعت فرو ریختن ستاره در اثر گرانش و در نهایت فرو ریختن کاملِ آن بر روی خود می‌شود. سرانجام ستاره در انفجاری به نام ابَرنواخَتَر(Supernova)، مواد خود را در فضای اطراف پراکنده می‌کند و آنچه که باقی می‌ماند می‌تواند اجرام مختلفی همچون ستارهٔ نوترونی، تپاختر و یا مگنتار باشد. اما اگر جرم باقیماندهٔ ستاره از جرم خورشید چندین برابر بیشتر باشد، در ادامهٔ روندِ رمبش، فشار نوترون‌ها برای متوقف کردن فروپاشی، کافی نخواهد بود و هستهٔ ستاره به جای تشکیل ستارهٔ نوترونی، تا تشکیل تکینگی گرانشی پیش می‌رود. گرانش این تکینگی به قدری قدرتمند است که بر تمام نیروهای دیگر غلبه می‌کند تا جایی که میدانی را در فضا-زمان ایجاد می‌کند که حتی نور هم توان فرار از آن را ندارد. به همین دلیل به آن سیاهچاله می‌گویند. (شکل۶)

سیاهچاله‌های نسبتاً کوچک از طریق ادغام ستاره‌های نوترونی نیز ایجاد می‌شوند. حتی یک ستاره نوترونی می‌تواند با یک سیاهچاله ادغام شده و سیاهچاله بزرگتری را ایجاد کند و یا اینکه دو سیاهچاله می‌توانند با هم برخورد کرده، ترکیب شوند و سیاهچالهٔ پرجرم‌تری ایجاد شود.[۱۷,۱۸]

شکل ٦
مراحل کلی تبدیل یک ستاره به سیاهچاله



ساختار سیاهچاله:

سیاهچاله ها دارای ساختاری هستند که می‌توان آنها را به بخش‌های مختلفی تقسیم‌بندی کرد:

ناحیه سکوت یا حد استاتیک (Quiet Region Negligible Gravitational Influence):

حد استاتیک (محدودهٔ ایستا) در واقع ناحیه‌ای در اطراف افق رویداد یک سیاهچالهٔ در حال چرخش همانند سیاهچالهٔ کِر است که در آن، هر جسم به دام اَفتاده چرخش خواهد داشت. به عبارتی در محدودهٔ ایستا، یک جسم مجبور است که همانند گرداب، همراه با سیاهچاله در حال چرخش باشد. حد استاتیک، افق رویداد را در قطب‌های سیاهچاله یعنی جایی که هیچ نیروی چرخشی وجود ندارد لمس می‌کند. حد استاتیک، مرز بیرونی ارگوسفر است که در یک سیاهچالهٔ غیر چرخنده، با افق رویداد منطبق می‌باشد.[۱۹,۲۰,۲۱]

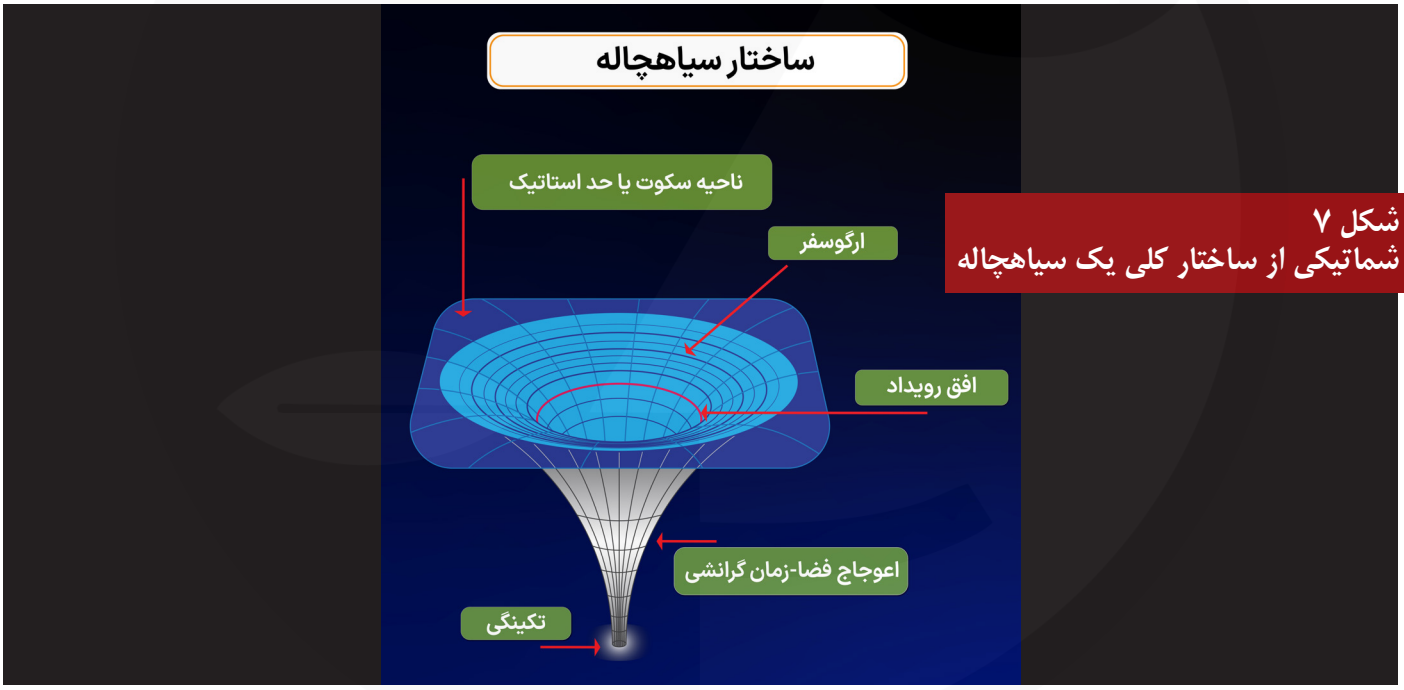
ارگوسفر(Ergosphere) : ارگوسفر بعد از محدودهٔ ناحیهٔ سکوت قرار دارد. این محدوده، ناحیهٔ پر انرژی است که نور در آن ناحیه هم به دور حفره می‌چرخد و هم در اثر گرانش به سوی مرکز آن کشیده می‌شود.[۲۲]

افق رویداد (Event Horizon): افق رویداد مرزی در اطراف سیاهچاله است که فراتر از آن هیچ نور یا تابش دیگری نمی‌تواند فرار کند. در واقع یک مرز بدون بازگشت است.[۲۳,۱۳]

اعوجاج فضا-زمان گرانشی (Gravitational Space -Time Distortion):

این اعوجاج، همان تاب هندسی فضا-زمانِ یک میدان است که توسط شیء بسیارپرجرم ایجاد شده است.[۲۴,۲۵,۲۶]

تکینگی (Singularity): نقطه‌ای در مرکز سیاهچاله است که جرم در آن نقطه، تا حد بی‌نهایت فشرده شده و فضا-زمان و قوانین شناخته شده در آنجا ماهیت خود را کاملا از دست می‌دهند.[۲۷] (شکل ۷)



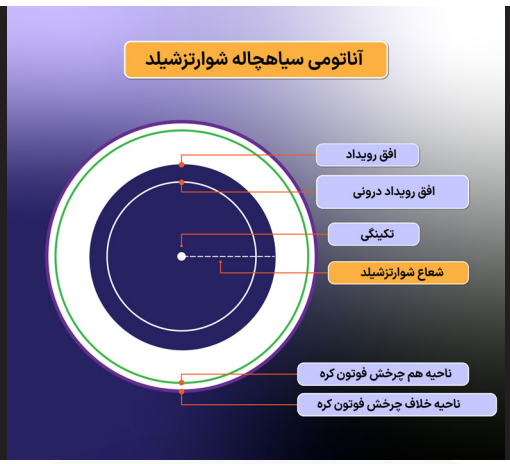
شکل ۷
شماتیکی از ساختار کلی یک سیاهچاله

همچنین آناتومی یک سیاهچاله از دیدگاه شوارتزشیلد شامل موارد زیر است:

۱- ناحیهٔ خلاف چرخشی کروی فوتون (Counterrotating photon sphere) و ناحیهٔ هم‌چرخشی فوتون (Corotating photon sphere): که هر دو، نواحی هستند که در آن، نور به دام گرانش سیاهچاله می‌افتد و شروع به چرخیدن به صورت کروی به دور آن می‌کند. ۲- افق رویداد بیرونی (Outer event horizon). ۳- افق رویداد درونی (Cauchy horizon). ۴- تکینگی (Singularity). ۵- شعاع شوارتزشیلد (Schwarzschild): به فاصلهٔ بین افق رویداد بیرونی و نقطهٔ تکینگی، شعاع شواتزشیلد گفته می‌شود.[۲۸,۲۹,۳۰]

همچنین سیاهچاله ها را میتوان بر حسب اندازه و رفتار نیز دسته بندی کرد:

سیاهچالهٔ شوارتزشیلد (Schwarzschild black hole): سیاهچالهٔ شوارتزشیلد نقش مهمی در گرانش انیشتین ایفا می‌کند و ساده‌ترین نوع یک سیاهچاله است که بار و چرخش ندارد، اما دارای افق رویداد و فوتون کره می‌باشد. این سیاهچاله شامل تکینگی است، یعنی نقطه‌ای که در آن، ماده تا چگالی نامحدود در هم فرو رفته است.[۲۹] (شکل ۸)



شکل ۸
آناتومی سیاهچاله شوارتزشیلد

سـیاهچالهٔ رایزنـر نورداشـتروم(Reissner–Nordström black hole):
ایـن نـوع سـیاهچاله هـم دارای بـار اسـت و هـم چرخـش. همچنیـن دارای دو افـق رویـداد و یـک فوتـون کـره می‌باشـد. از طرفـی نیـز شـامل یـک تکینگـی نقطـه‌ای اسـت کـه وجـود آن در طبیعـت نامحتمـل اسـت، زیـرا بارهـای آن همدیگـر را خنثـی می‌کننـد. [۳۱](شـکل ۹)

شکل ۹
شماتیک کلی سیاهچالهٔ رایزنر- نورداشتروم

سـیاهچالهٔ کـر (Kerr black hole): سـیاهچالهٔ کـر چرخـش دارد، امـا بـار نـدارد و دارای شـکل بیضـوی اسـت. منطقـهٔ تاریـک میـان افـق رویـداد و حـد اسـتاتیک آن منطقـهٔ ارگوسـفر می‌باشـد کـه می‌تـوان از آن انـرژی اسـتخراج کـرد. ایـن نـوع سـیاهچاله می‌توانـد دو افـق رویـداد و دو حـد اسـتاتیک داشـته باشـد و در نهایـت دو فوتـون کـره دارد کـه شـامل یـک تکینگـی حلقـه‌ای اسـت. [۳۲,۳۳,۳۴]

سـیاهچالهٔ کِـر نیومـان(Kerr-Newman-black hole) : هـم بـار و هـم چرخـش دارد. ایـن نـوع سـیاهچاله نوعـی سـیاهچالهٔ کـر اسـت، جـز اینکـه دارای بـار اسـت. سـاختار آن شـبیه سـاختار سـیاهچالهٔ کـر بـوده و می‌تـوان از آن انـرژی اسـتخراج کـرد؛ همچنیـن ایـن نـوع سـیاهچاله یـک تکینگـی حلقـه‌ای دارد.[۳۵] (شـکل ۱۰)

شکل ۱۰
شماتیک کلی سیاهچالهٔ کِر و کِر-نیومان

در کل باید گفت که سیاهچاله‌ها به خودی خود با چشم انسان دیده نمی‌شوند و یکی از راه‌های شناسایی آنها در فضا، اعوجاج نور ستارگانی است که از کنار این اجرام عبور می‌کنند. البته راه‌های دیگری همچون تشخیص پرتوهای ایکس و گامای ناشی از فروریزش یک ستاره به درون سیاهچاله و یا بررسی حرکت نوسانی ستاره‌ای که یک همدم نامرئی همچون سیاهچاله دارد نیز برای شناسایی موقعیت این اجرام ثقیل در فضا مورد استفاده قرار می‌گیرد. [۳۶,۳۷,۳۸,۳۹]

سیاهچالهٔ کیهانی یا نطفهٔ آغازین کیهان (کیهان‌شناسی شعوری)

با اینکه نظریهٔ بیگ‌بنگ و یا مدل استاندارد کیهان‌شناسی در توصیف مکانیسم انبساط کیهان و نحوهٔ ایجاد انواع ماده و انرژی و تشکیل ساختارهای بزرگ در جهان، علی رغم برخی مخالفت‌ها مورد پذیرش اکثر کیهانشناسان قرار گرفته است، با این حال کیهان‌شناسی شعوری این نظریه را به چالش کشیده و مدل جدیدی به نام کیهان کروی را معرفی می‌کند که دارای ویژگی‌هایی است که به آن با ارائه فرضیاتی همچون سیاهچالهٔ کیهانی، پوستهٔ کیهان، فضا-گرانش زمان، چرخش کیهان، مرکز کیهان و ... می‌پردازد.

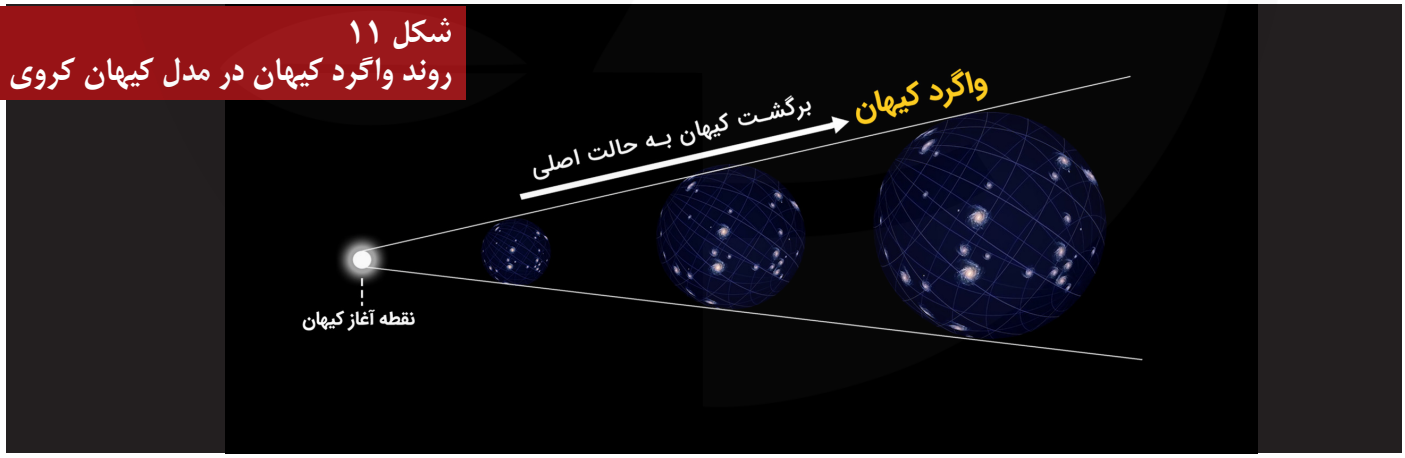
سیاهچاله کیهانی یا همان نطفهٔ آغازین کیهان به عنوان یکی از این فرضیات، دارای آناتومی و یا ساختار بسیار متفاوتی نسبت به سیاهچاله‌های شناخته شده است. در مدل بیگ‌بنگ نیز سوالات بی‌پاسخ زیادی در مورد منشاء جهان وجود دارد که فرضیهٔ سیاهچالهٔ کیهانی به برخی از آنها با توجه به مدل کیهان کروی پاسخ می‌دهد. مطابق این فرضیه نه تنها کیهان از سرنوشت جهان تخت یا جهان باز تبعیت نمی‌کند بلکه دارای بازگشت بوده که مکانیسم آن با سرنوشتِ جهانِ بسته و یا همان Big Crunch که گرانش را عامل انقباض مجدد کیهان می‌داند، کاملا متفاوت است.

تشکیل سیاهچالهٔ کیهانی

تا به امروز در کیهان‌شناسی رایج افزایش حجم جهان، به شکلِ انبساط درونی که همان افزایش فاصلهٔ متریک بین اجرام می‌باشد، درنظر گرفته شده است. نیروی این انبساط توسط انرژی تاریک با وارد کردن فشار منفی تامین می‌شود. اما از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری، جهان در حال طی کردن روندی به نام **واگرد** است. در واقع افزایش فاصلهٔ متریک، علتی دارد که این دیدگاه آن را با مکانیسم واگرد توضیح می‌دهد و انرژی تاریک نیز از طریق دیگری عامل افزایش حجم کیهان می‌شود.

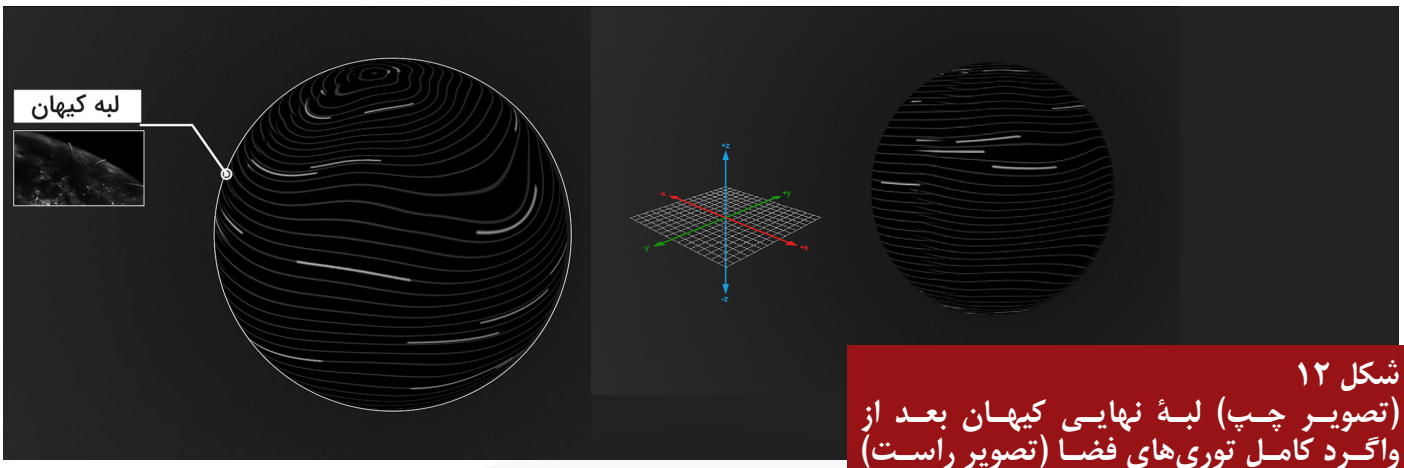
واگرد به معنای بازگشت به حالت طبیعی، اصلی و اولیهٔ هر چیزی می‌باشد. برای تعریف واگرد می‌توان از مثال فنری استفاده کرد که فشرده شده است. اگر فنر را به آرامی و به صورت مستمر رها کنیم، در طی روندی به مرور به حالت اولیهٔ خود یعنی حالتی که بدون تنش و استرس بوده است باز می‌گردد که به این حالت واگرد فنر گفته می‌شود. طبق مدل کیهان کروی همین امر برای کیهان نیز اتفاق می‌افتد. به تعبیر دیگر، فضا به عنوان بستر اصلی کیهان در حال خارج شدن از وضعیت جمع‌شدگی یا انقباض می‌باشد؛ یعنی حرکت به سمت وضعیت سکون که بدون هرگونه تنش و استرس ناشی از گرانش در توری‌های فضا می‌باشد. (شکل ۱۱)

شکل ۱۱
روند واگرد کیهان در مدل کیهان کروی



با این تعریف در مدل کیهان کروی، بعد از واگردِ کاملِ فضا، کیهان دارای لبه یا مرز نهایی خواهد بود که کیهان‌شناسی شعوری آن را «لبهٔ نهایی کیهان» می‌نامد. در این مدل بیان می‌شود که با افزایش حجم کیهان تمامی کهکشان‌ها، ستارگان و اجرام در مسیر واگرد فضا، به سمت لبهٔ نهایی کیهان کروی حرکت کرده و کم‌کم به سرعت آنها افزوده می‌شود تا به سرعت نور و یا حتی فراتر از آن برسند. بدیهی است که قبل از رسیدن به خود سرعت نور، این اجرام، مضمحل و تجزیه شده و به موج تبدیل می‌شوند.

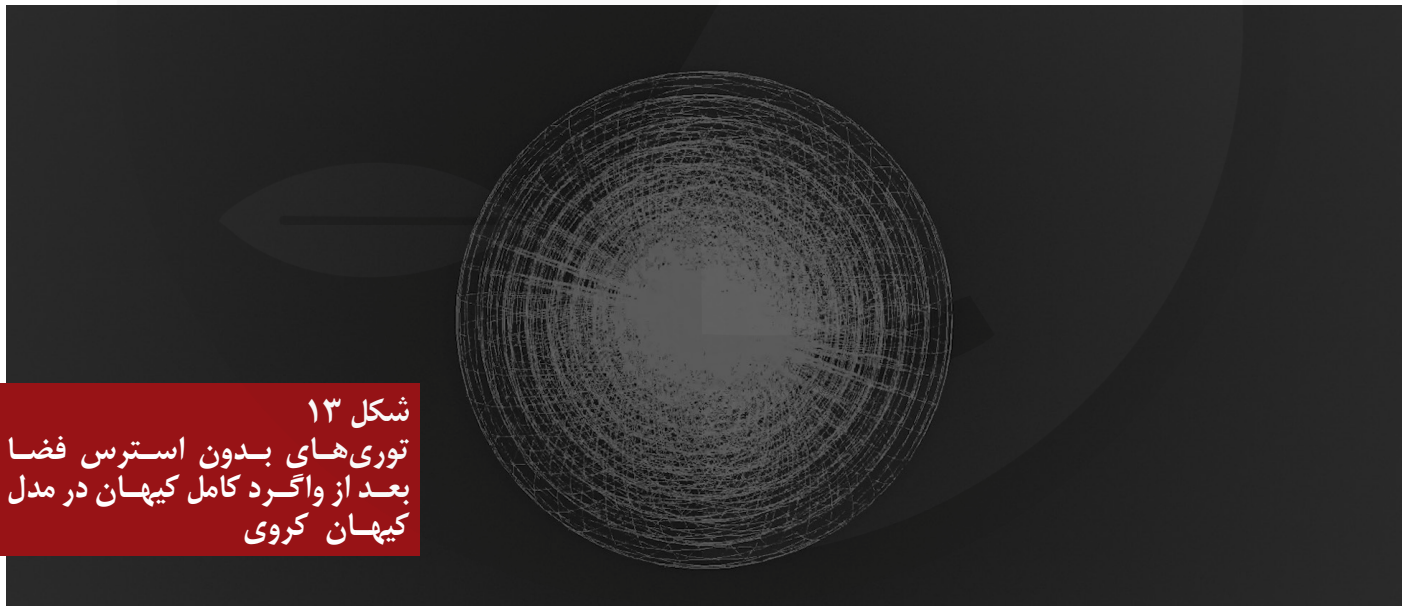
با ادامهٔ این روند، تمامی امواج ایجاد شده در لبهٔ نهایی کیهان به «موج‌های مطلق» که دارای طول موج و دامنهٔ نزدیک به وسعت کیهان هستند تبدیل می‌شوند و گردشی همسو با «چرخش ذاتی کیهان» خواهند داشت. (شکل۱۲) کیهان در طی واگرد، همانند یک سیستم عظیم، حرکت و چرخش همه محوری دارد که منجر به بینهایت حرکتهای مختلف اجزای آن می‌شود و خود اجزاء، از اسپین یکدیگر اثر پذیری دارند. شایان ذکر است که موضوع چرخش کیهان در مبحثی جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱۲
(تصویر چپ) لبهٔ نهایی کیهان بعد از واگرد کامل توری‌های فضا (تصویر راست) چرخش کیهان در مدل کیهان کروی

در نهایت، سرنوشت امواج مطلق ایجاد شده در کیهان بدین صورت خواهد بود که در انتهای مسیر واگرد، کاملا موازی و مماس با لبهٔ نهایی یعنی جایی که توری‌های فضا به حداکثر بازشدگی خود رسیده‌اند، حرکت خواهند کرد و به خاطر چرخش ذاتی کیهان، مجددا به سمت داخل باز می‌گردند. حرکت بازگشتی این امواج در درون کیهان بعد از گذر میلیاردها سال در شعاعی، احتمال برخورد به یکدیگر را پیدا می‌کنند که نتیجهٔ این برخورد، ایجاد جرم یا همان مادهٔ معمولی شناخته شده و مسلما گرانش خواهد بود. بدین صورت که به خاطر جرم و گرانش ایجاد شده به توری‌های فضایی که تا آن لحظه یعنی بعد از واگرد نهایی کیهان در وضعیت طبیعی و سکون خود بودند، استرس و تنش وارد می‌شود و اثر این تنش تا لبهٔ انتهایی فضا یا همان لبهٔ نهایی کیهان ادامه پیدا می‌کند.

از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری فضا در کیهان، متشکل از بی‌نهایت توری‌های کشسان نامرئی و تاریک است که در ابعاد بسیار گسترده می‌توانند چرخش و پیچش داشته باشند. به همین دلیل استرس ناشی از این برخورد می‌توانند در سراسر توری‌های فضا تا انتهای لبهٔ نهایی کیهان انتقال پیدا کنند. (شکل ۱۳)



شکل ۱۳
توری‌های بدون استرس فضا بعد از واگرد کامل کیهان در مدل کیهان کروی

درنتیجهٔ برخوردهای پی‌درپیِ امواج غیرمتراکم در دل توری‌های فضا که در جای‌جای کیهان رخ می‌دهد، امواجِ متراکم به وجود می‌آیند و مراکز متعدد گرانشی که ناشی از ایجادِ همین امواج هستند نیز تشکیل می‌شوند. به عبارتی کیهان‌شناسی شعوری ایجاد جرم را ناشی از برخورد امواج غیرمتراکم و تشکیل امواج متراکم می‌داند. این مراکز به سمت هم جذب شده و مراکز گرانشی پر قدرت تر را ایجاد می‌کنند که منجر به تشکیل ماده روشن (معمولی) و سپس با ادمهٔ روند بازگشت کیهان منجر به ایجاد مادهٔ روشن تاریک که همان مادهٔ معمولی فوق فشرده می‌باشد، می‌شود. این اتفاق باعث کشیده شدن توری‌های فضا به سمت مراکز گرانش می‌شود خود عمل فشردگی و یا انقباض فضا نه تنها مادهٔ تاریک را ایجاد می‌کند بلکه ادامهٔ این فشردگی منجر به تشکیل نوعی مادهٔ دیگر به نام مادهٔ تاریکِ تاریک نیز می‌گردد.

بنابراین از منظر کیهان‌شناسی شعوری دو نوع مادهٔ تاریک معرفی می‌شود:

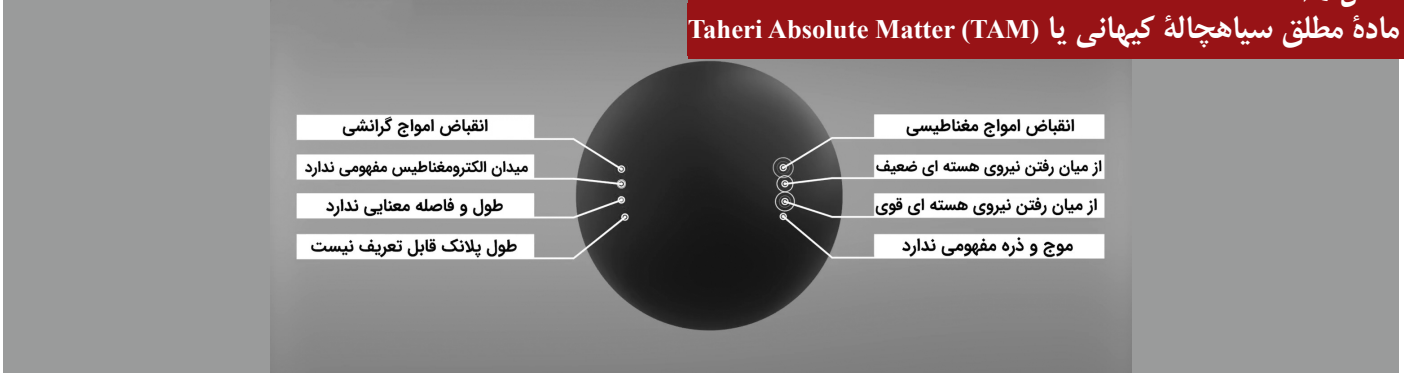
۱- مادهٔ روشنِ تاریک: که ناشی از انقباض شدید امواج و یا ماده معمولی شناخته شده است؛ به شکلی که نه تنها هیچ نوری از آن نمی‌تواند عبور کند بلکه بازتاب نور از آن نیز غیر ممکن می‌باشد. این نوع ماده در سیاهچالهٔ کیهانی، پوستهٔ کیهان و در نواحی مرکزی سیاهچاله‌های درون کیهانی یافت می‌شود.

۲- مادهٔ تاریکِ تاریک: که ناشی از انقباض خود فضا است که در ابتدا تشکیلِ مادهٔ تاریک را می‌دهد و زمانی که با شدت زیاد مجدداً فشرده می‌شود، مادهٔ تاریک تاریک را شکل می‌دهد. این نوع ماده نیز در سیاهچالهٔ کیهانی، پوستهٔ کیهان و در نواحی مرکزی سیاهچاله‌های درون کیهانی یافت می‌شود که به این مباحث در فرضیهٔ پوستهٔ کیهان بیشتر پرداخته خواهد شد.

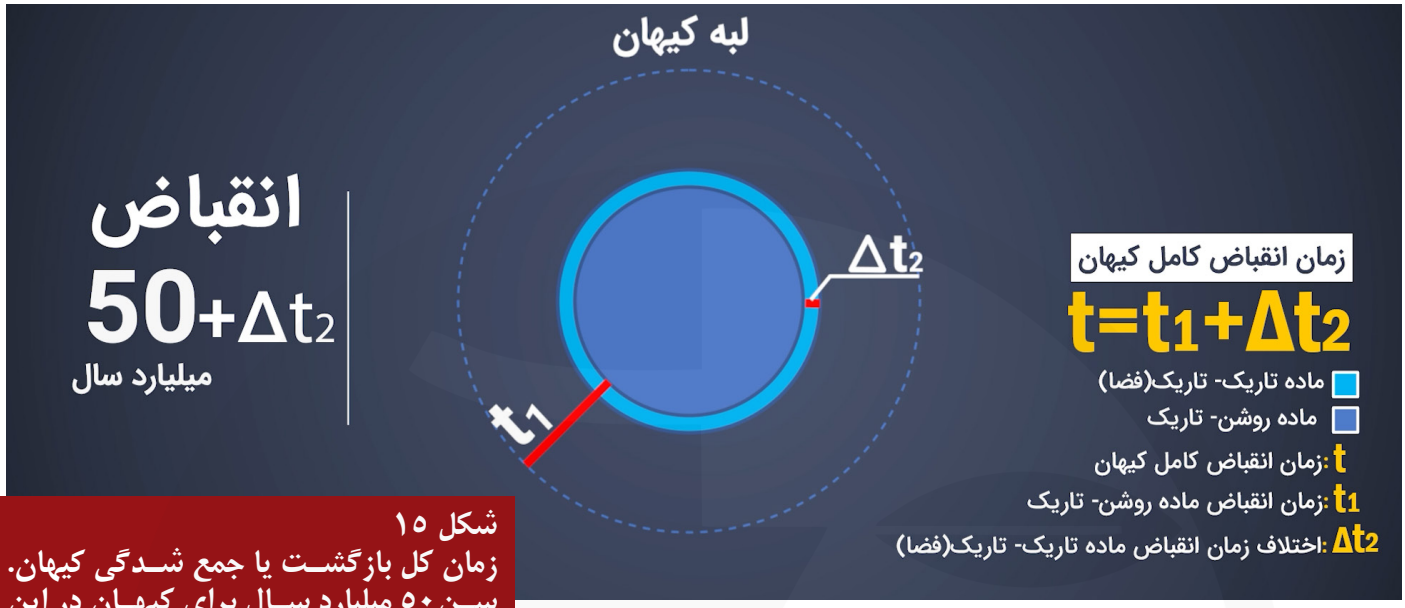
در طی بازگشت کیهان، ماده روشن یا همان معمولی که حاصل برخورد امواج غیرمتراکم با یکدیگر است و در مراکز گرانشی تشکیل می‌شود، مدت زمان کوتاهی دارای فرکانس مرئی خواهد بود و پس از آن با توجه به کاهش حجم جهان، به علت فشردگی و تبدیل به مادهٔ روشن تاریک، دیگر قابل رویت نخواهد بود. به موازات نیز مادهٔ تاریکِ تاریک ایجاد شده که حاصل فشردگی بسیار زیاد فضا است، از هر سو به سمت مراکز گرانشی حرکت می‌کند و پیوستن این نوع ماده به یکدیگر باعث شدت گرفتن قدرت گرانش این مراکز می‌شود. این مراکز با کوچکتر شدن اندازهٔ کیهان با یکدیگر ترکیب شده و مرکز واحدی را تشکیل می‌دهند که در نهایت هر دو ماده تاریکِ تاریک و مادهٔ روشنِ تاریک با سرعت، بسوی این مرکز گرانشی واحد شتاب گرفته و به سمتی پیش می‌روند که منجر به برخوردی مهلک و پرس عظیم یا یک کوئنچ سهمگین شوند. در این روند فضا نیز تحت تاثیر این گرانش‌ها فشرده می‌شود. در نتیجهٔ افزایش گرانش، در نقاط مختلف کیهان سیاهچاله‌هایی شکل می‌گیرند که پیوسته با هم ادغام می‌شوند و به جای اینکه بزرگتر شوند به خاطر کاهش حجم جهان، کوچک و کوچکتر می‌گردند. در این شرایط از یک سو گرانش بر روی دما نیز اثر می‌گذارد و اجازه ساطع شدن امواج حرارتی را نمی‌دهد و از سوی دیگر فشار حاصل از جمع شدن فضا، این امواج را بشدت متراکم می‌کند. اینجاست که پدیده‌ای نادر رخ می‌دهد؛ تشعشعات حرارتی به صورت غیرقابل تصوری متراکم شده، تغییر ماهیت داده و مادهٔ ناشناختهٔ جدیدی از آن پدید می‌آید. فضا هم که به واسطهٔ ایجاد نیروی گرانش تمایل به انقباض داشته و به سمت مرکز گرانشی واحد در حال حرکت بوده، دچار پرس عظیمی می‌شود و همه اجزای کیهان به سمت همان مرکز گرانشی لهیده می‌شوند. نیروی هسته‌ای ضعیف و نیروی هسته‌ای قوی با از بین رفتن ذرات بنیادین از بین می‌روند. در این شرایط موج، ذره و میدان الکترومغناطیسی مفهومی نخواهند داشت؛ به عبارتی نه تنها همه ذرات و امواج با فشرده شدن بسیار زیاد ماهیت خود را از دست می‌دهند بلکه طول پلانک نیز در این فشردگیِ غیرقابل تصور بی‌معنی خواهد شد. درنتیجه درونِ سیاهچالهٔ کیهانی که فشردگی بسیار بالایی دارد، ماده مطلقی تشکیل می‌شود که از وحدت ماده‌هایی همچون مادهٔ جدید حرارتی که همان امواج حرارتی بسیار متراکم می‌باشد، ماده روشنِ تاریک و ماده تاریکِ تاریک ایجاد شده است. یعنی مادهٔ تشکیلِ دهندهٔ این سیاهچالهٔ غیر قابل تفکیک است. کیهان‌شناسی شعوری به این ماده مطلق (Taheri Absolute Matter) یا TAM می‌گوید. بنابراین TAM حاصل فشردگی غیرقابل تصور امواج و توری‌های فضاست که تشکیل مادهٔ مطلق را داده است. این ماده همان مادهٔ تشکیل دهندهٔ سیاهچالهٔ کیهانی است که همهٔ آن را در بر گرفته و بی‌نهایت کوچک می‌باشد. به موازات، نوع خاصی از زمان که کیهان‌شناسی شعوری آن را به عنوان یک «نیروی آنتروپیایی» در جهت رهاسازی فضا از استرس و جمع‌شدگی معرفی می‌کند، وارد عمل می‌شود. شایان ذکر است که این نوع زمان در نظریهٔ نسبیت به عنوان بعد چهارم معرفی شده است، اما کیهان‌شناسی شعوری از این جهت آن را «نیرو» می‌داند و نه بُعد، که هم دارای کمیت و هم دارای جهت می‌باشد. به عبارتی زمان در سیاهچالهٔ کیهانی برای رهاسازی گرانش از استرس، در حالتِ بی‌نهایت و ماکزیمم خود قرار دارد. اما به دلیل اینکه در انتهای واگرد کیهان هیچ جرمی وجود نخواهد داشت و گرانش به صفر می‌رسد و خود توری‌های فضا هیچگونه انقباضی نخواهند داشت، همین نیروی زمان نیز به صفر خواهد رسید. در مورد نیروی زمان در فرضیهٔ فضا-گرانش زمان توضیحات بیشتری داده خواهد شد.

در کل، کیهانشناسی شعوری اینگونه بیان میکند که، فرضیهٔ سیاهچالهٔ کیهانی همان نطفهٔ اولیهٔ بی‌نهایت کوچک کیهان قبل از تولد است که نه تنها گرانش در آن به صورت غیرقابل تصور بالاست، بلکه از ماده‌ای به نام مادهٔ مطلق یا همان TAM تشکیل شده است که به صورت بالقوه، آمادهٔ ایجاد همهٔ اجزای کیهان می‌باشد. به عبارتی با پرس سهمگین کیهانِ در حال بازگشت، با از بین رفتن ماهیت هر نوع ماده و انرژی چهِ روشن و چه تاریک، سیاهچاله کیهانی یا مروارید سیاه کیهان که آغازی برای جهان متوالی جدید است متولد می‌شود. (شکل ۱۴)

شکل ۱۴
مادهٔ مطلق سیاهچالهٔ کیهانی یا Taheri Absolute Matter (TAM)



از طرفی نیز این دیدگاه بیان می‌کند که کل بازگشت یا جمع شدگی کیهان برابر است با : $t_{total}=t_1+\Delta t_2$. با این فرض، کیهان که در n میلیارد سال به حد نهایی اندازهٔ خود می‌رسد، برای تشکیل سیاهچالهٔ کیهانی که همان زمان کلِ بازگشت کیهان و تبدیل آن به این نوع سیاهچاله است، n میلیارد سال به اضافه Δt_2، زمان طول خواهد کشید. زمان Δt_2، زمان مضاعفی است که در اثر گرانش بسیار بالا در لحظات نزدیک به تشکیل سیاهچالهٔ کیهانی به کل سیستم کیهان اعمال می‌شود. (شکل ۱۵)



شکل ۱۵
زمان کل بازگشت یا جمع شدگی کیهان. سن ۵۰ میلیارد سال برای کیهان در این مدل به عنوان مثال مطرح شده است.

نکتهٔ حائز اهمیت اینجاست که از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری در بیرون این سیاهچالهٔ تشکیل شده، فضا و زمانی وجود نداشته و کل کیهان در آن فشرده شده است. در واقع اندازهٔ سیاهچالهٔ کیهانی از تمامی اندازه‌های شناخته شده کمتر است و مقدار قابل تعریف همانند اندازهٔ پلانک نیز برای آن وجود ندارد.

مقایسهٔ سیاهچالهٔ کیهانی و سیاهچاله‌های درون کیهانی

مقایسه از منظر مطلق و نسبی

سیاهچاله‌های درون کیهانی دارای پارامترهای نسبی و متغیر می‌باشند و در انواع مختلف و به تعداد بیشمار در درون کیهان امروزی وجود دارند.

کیهان‌شناسی شعوری بیان می‌کند که به واسطهٔ اصل اجتناب ناپذیر حرکت، هیچ چیز در کیهان ثابت نیست و تمامی عوامل اصلی و فرعی تشکیل دهندهٔ آن مانند فضا، گرانش، زمان، ماده، انرژی و عوامل جانبی آنها مانند دما و نور، همگی در حال تغییر بوده و نسبی هستند؛ بنابراین تمام ویژگی‌های حاکم بر سیاهچاله‌های درون کیهانی نسبی به حساب می‌آیند. اما سیاهچالهٔ کیهانی یا همان نطفهٔ آغازین جهان به واسطهٔ بازگشت کیهان بعد از واگرد نهایی، همهٔ کیهان را در خود فرو برده و هر آنچه که در برگرفته، در وحدت و یکپارچگی است و غیر قابل تفکیک می‌باشد. این سیاهچاله به دلیل احاطه به تمام اجزاء کیهان که به صورت بالقوه در درون آن وجود دارند، هیچ گونه تبادلی با خارج از خود نداشته و در نتیجه یک سیاهچاله مطلق به شمار می‌آید و مثل و مانندی هم نمی‌توان برای آن در نظر گرفت. (شکل ۱۶)

شکل ۱۶
سیاهچالهٔ کیهانی در مدل کیهان کروی یک سیاهچالهٔ مطلق است.

مقایسه از منظر طول پلانک، اصل طرد پائولی و حد چاندراسخار

برای تشکیل سیاهچاله‌های درون‌کیهانی، اصل طرد پائولی و حد چاندراسخار قابل تعریف و محاسبه می‌باشد. اصل طرد پائولی بیان می‌کند که دو یا چند فرمیون یکسان (ذراتی با اسپین نیمه صحیح) نمی‌توانند حالت کوانتومی یکسان را در یک سیستم کوانتومی به طور همزمان اشغال کنند.[۴۰] حد چاندراسخار نیز مسئول فشار انحطاط الکترونی است که می‌تواند فروپاشی یک ستاره را متوقف کند و در نتیجه یک کوتولهٔ سفید یا ستارهٔ نوترونی یا یک سیاهچاله تشکیل شود. در واقع این نشان می دهد که دو الکترون هیچ گاه نمی‌توانند به طور همزمان در یک مکان باشند. به دلیل وجود همین اصل است که ستارهٔ در حال مرگ با جرمی بیشتر از حدِ چاندراسخار در خود رُمبش می‌کند و جرم باقی‌مانده به سیاهچالهِ تبدیلَ می‌شود.[۴۱،۴۲]

این اصول بر همهٔ سیاهچاله‌های درون کیهانی حاکم است. همچنین در صورت پذیرفتن وجود تکینگی در سیاهچاله‌های درون کیهانی، انقباض فضا بصورت نسبی تا حوالی طول پلانک که در فیزیک کوانتوم کوچکترین واحد معنادار طولی است، قبل از نقطهٔ تکینگی قابل تعریف است. اما در مورد سیاهچالهٔ کیهانی، الکترون‌ها و هیچ یک از اجزاء ماده قابل تعریف نیستند و از آنجایی که اصل طرد پائولی و حد چاندراسخار زمانی مفهوم دارند که ذرهٔ بنیادینی وجود داشته باشد، بنابراین این اصول برای سیاهچالهٔ کیهانی که مطلق می‌باشد و چیزی در درون آن قابل تفکیک نیست، مفهومی ندارند. (شکل ۱۷)

شکل ۱۷
(تصویر راست) وجود اصل طرد پائولی و حد چاندراسخار در سیاهچاله‌های درون کیهانی (تصویر چپ) عدم وجود اصل طرد پائولی و حد چاندراسخار در سیاهچالهٔ کیهانی

مقایسه از منظر شعاع شوارتزشیلد و افق رویداد

همان طور که قبلا اشاره شد طبق پیش‌بینی نسبیت عام، در مرکز هر سیاهچالهٔ درون کیهانی، نقطه‌ای با گرانش تقریبا بی‌نهایت وجود دارد که فضا-زمان و قوانین شناخته شده در آن نقطه، ماهیت خود را کاملاً از دست می‌دهند. به این نقطه، تکینگی گفته می‌شود.[۲۷] به غیر از تکینگی، سیاهچاله‌های درون کیهانی دارای مرزی در پیرامون خود هستند که هیچ جرم و نوری پس از عبور از آن نمی‌تواند به دلیل جاذبهٔ بسیار بالا، فرار کند. در واقع این مرز یک مرز بدون بازگشت است که به آن افق رویداد گفته می‌شود.

به فاصلهٔ بین افق رویداد و نقطهٔ تکینه نیز شعاع شوارتزشیلد گفته می‌شود.[۴۳،۴۴] از طرفی این شعاع با توجه به انبساط جهان و حرکت سیاهچاله، با توجه به سرعت حرکت تغییر می‌کند.

در صورتیکه خارج از سیاهچالهٔ کیهانی یعنی بعد از جمع‌شدگی کامل کیهان، فضا و زمانی وجود نخواهد داشت. بنابراین شعاع شوارتزشیلد و به تبع آن افق رویداد درونی و بیرونی و باقی بخش‌ها همانند ارگوسفر و ناحیهٔ سکوت نیز در درون آن، مفهوم و کاربردی نخواهند داشت؛ در نتیجه سیاهچالهٔ کیهانی دستخوش هیچ تغییری نخواهد بود. به عبارتی این سیاهچاله مطلق است. (شکل ۱۸)

شکل ۱۸
(تصویر راست) عدم وجود شعاع شوارتزشیلد و افق رویداد در سیاهچالهٔ کیهانی. (تصویر چپ) وجود شعاع شوارتزشیلد و افق رویداد در سیاهچاله‌های درون کیهانی

مقایسه از منظر سرعت، نسبت به فضا

از دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری کیهان در حال واگرد است. این موضوع با مکانیسم انبساط کیهان با توجه به مدل بیگ‌بنگ متفاوت می‌باشد. به عبارتی هرچیزی درون آن در حال حرکت است و دارای سرعت می‌باشد. هر چقدر کیهان حجم بیشتری پیدا می‌کند، اجرام از هم دورتر شده و سرعت حرکت کهکشان‌ها و سیاهچاله‌های درون کیهانی نیز در جهت این گستردگی افزایش پیدا می‌کند. به بیانی همهٔ سیاهچاله‌های درون کیهانی در حال حرکت بوده و دارای سرعت های نسبی نسبت به یکدیگر می‌باشند که در نهایت در لحظات واگرد نهایی کیهان تجزیه شده و از بین می‌روند. در حالی که سیاهچالهٔ کیهانی نه دارای سرعت حرکت بوده و نه همانندی دارد که بتوان آن را در یک فضای نسبی مقایسه کرد. در واقع سیاهچالهٔ کیهانی همان خود کیهان در ابعاد بی‌نهایت کوچک و غیرقابل تصور می‌باشد. (شکل ۱۹)

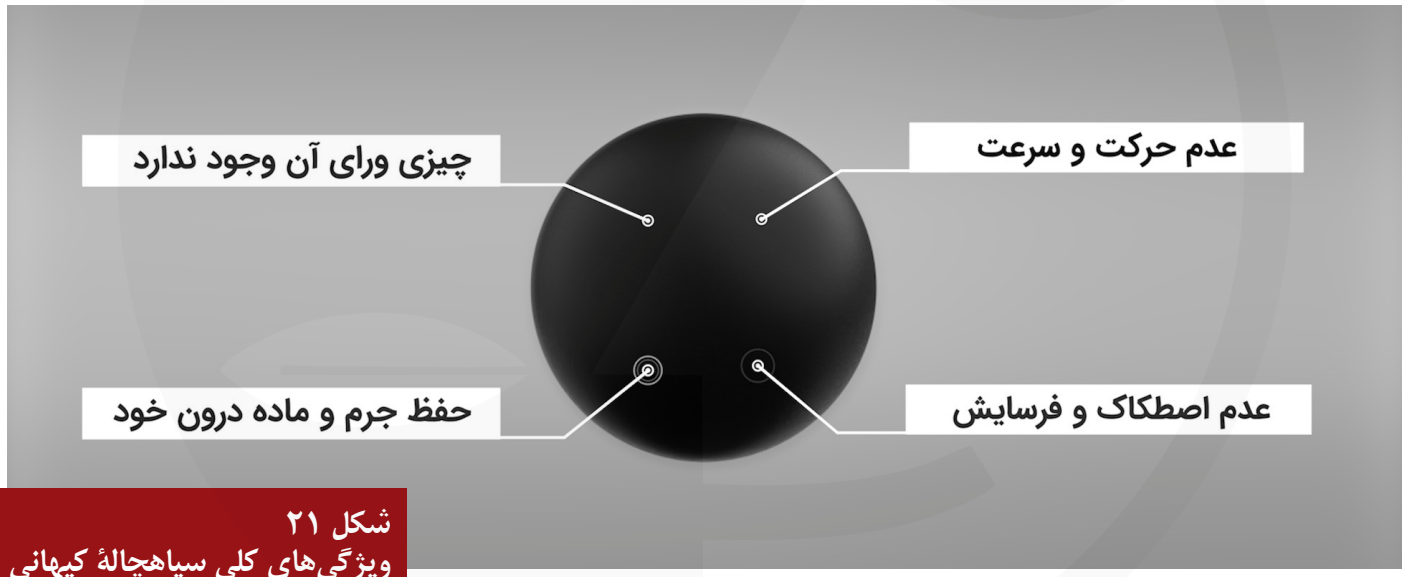
شکل ۱۹
(تصویر راست) حرکت سیاهچالهٔ درون کیهانی با توجه به انبساط کیهان و تغییرشکل آن (تصویر چپ) عدم حرکت سیاهچالهٔ کیهانی

مقایسه از منظر جرم و تغییر حالت

از دیدگاه کیهان شناسی رایج و یا اخترفیزیک، طبق نظریهٔ گرانش کوانتومی مفهومی به نام انتقال فاز هاوکینگ‌پیج وجود دارد که بیانگر تغییر سیاهچاله از حالتی به حالت دیگر است. با توجه به این مفهوم دانشمندان تغییرات حالت‌های سیاهچاله را در فضاهای مختلف مورد بررسی قرار می‌دهند. [۴۵]

و اما با توجه به دیدگاه کیهان‌شناسی شعوری، سیاهچاله‌های درون کیهانی در فضا مشمول حرکت، سرعتِ افزاینده ، شتاب و جهت می‌باشند که به دلیل همسویی با انبساط کیهان صورت می‌گیرد؛ درنتیجه این سرعت دارای تبعاتی نیز خواهد بود. یعنی سیاهچاله‌های درون کیهانی با سرعت زیادی، هم دارای اسپین بوده و هم با کیهانِ در حالِ واگرد، حرکتی همسو دارند. در واقع سرعت واگرد فضا که به صورت ذاتی در کیهان در حال افزایش است مدام به سرعت حرکت این سیاهچاله‌ها می‌افزاید. در نتیجه هر جرمی، از جمله سیاهچاله‌های درون کیهانی که در دل توری‌های فضا حرکت می‌کنند، در حین افزایش سرعتِ حرکت با مقاومت این توری‌ها مواجه می‌شوند که همین عامل باعث تجزیهٔ آنها در حین واگرد فضا (انبساط کیهان) می‌شوند. به عبارتی سیاهچاله‌های درون کیهانی در طی مسیر حرکت به دلیل سرعت مضاعفِ ایجاد شده قابلیت جذب خود را از دست می‌دهند و جرم جایگزین برای بقای خود نخواهند داشت. اما همانطور که بیان شد، سیاهچالهٔ کیهانی مشمول حرکت و سرعت و تغییر حالت نمی‌باشد، ضمن اینکه چیزی ورای آن وجود ندارد که باعث اصطکاک و فرسایش آن شود. پس می‌تواند مادهٔ مطلق یا به عبارتی جرم را درون خود حفظ کند. (شکل۲۰-۲۱)

شکل ۲۰
(تصویر راست) عدم فرسایش یا تبخیر سیاهچالهٔ کیهانی به دلیل نبود فضا در اطراف آن. (تصویر چپ) فرسایش و تبخیر سیاهچاله‌های درون کیهانی

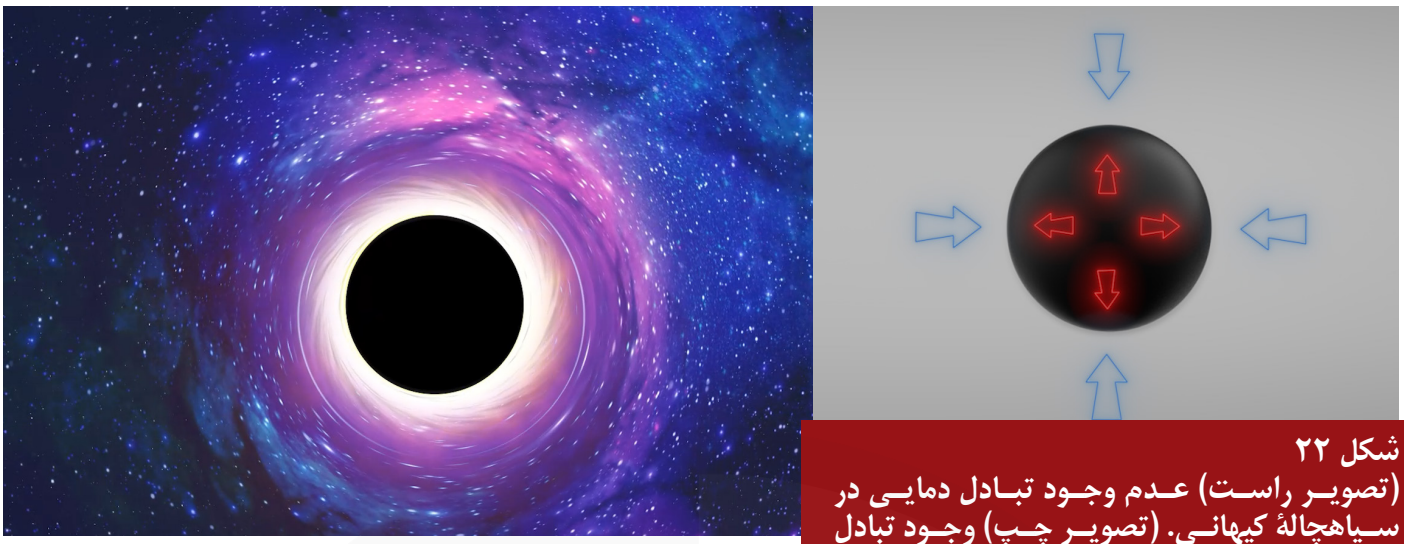


شکل ۲۱
ویژگی‌های کلی سیاهچالهٔ کیهانی

مقایسه از منظر تبادل دمایی

دما در سیاهچاله‌های درون‌کیهانی متغیر است. به عبارتی این اجرام در محاصرهٔ دمای حاکم بر فضا می‌باشند که معادل ۲,۷ کلوین است. در واقع بین سیاهچاله‌های درون‌کیهانی و فضای اطراف آنها اختلاف دما وجود دارد. بنابراین تبادل دمایی تا زمانی که سیاهچاله، دمای خود را از دست ندهد و با کیهانی با این عظمت هم دما نشود ادامه خواهد داشت. در نتیجه روزی سیاهچاله‌های درون کیهانی با نزدیک شدن به دمای صفر مطلق، انرژی خود را از دست می‌دهند. (شکل ۲۲)

اما همان طور که قبلا بیان شد در اطراف سیاهچالهٔ کیهانی فضایی وجود ندارد که بتواند با آن تبادل دمایی و انرژی داشته باشد؛ بنابراین امکان از دست دادن دمای خود را نیز ندارد. به عبارتی فضا و زمان و هر جرمی که در آینده قرار است از این سیاهچاله به عنوان اجزاء کیهان پا به عرصهٔ وجود بگذارند، به صورت بالقوه درون آن قرار دارند.



شکل ۲۲
(تصویر راست) عدم وجود تبادل دمایی در سیاهچالهٔ کیهانی. (تصویر چپ) وجود تبادل دمایی در سیاهچاله‌های درون کیهانی

مقایسه از منظر تابش هاوکینگ

سیاهچاله‌های درون کیهانی هر چقدر هم که بزرگ باشند طبق فرضیهٔ بیان شده ممکن است با مقوله‌ای به نام تابش هاوکینگ روبرو باشند. طبق این فرضیه، تابش هاوکینگ باعث از دست رفتن جرم و انرژی سیاهچاله به دلیل اثرات کوانتومی در نواحی افق رویداد شده که به عنوان «تبخیر سیاهچاله» شناخته می‌شود. به همین دلیل در صورت پذیرفتن این فرضیه، سیاهچاله‌هایی که جرم آنها افزایش نمی‌یابند با گذر زمان تبخیر شده و در پایان از بین می‌روند.[۴۶]

اما از آنجایی که سیاهچالهٔ کیهانی با فضایی خارج از خود مواجه نیست در نتیجه فرضیهٔ تابش هاوکینگ نیز در آن معنایی ندارد و نمی‌تواند تبخیر شود. (شکل ۲۳)

شکل ۲۳
(تصویر راست) عدم وجود نظریهٔ تابش هاوکینگ در سیاهچالهٔ کیهانی. (تصویر چپ) وجود تابش هاوکینگ در سیاهچاله‌های درون کیهانی

مقایسه از منظر نیروهای بنیادین

دانشمندان حدس می‌زنند که در یک سیاهچاله، انرژی ممکن است به اندازه کافی بالا باشد تا نیروهای بنیادین با یکدیگر متحد شوند. با این حال، از آنجایی که هنوز تئوری کاملی از گرانش کوانتومی که مکانیک کوانتومی و نسبیت عام را متحد می‌کند در دسترس نیست، در حال حاضر پاسخ قطعی به این سوال نیز ممکن نمی‌باشد. اما این احتمال وجود دارد که درون سیاهچاله‌های درون کیهانی نیروهای بنیادین از جمله میدان گرانشی و میدان الکترومغناطیسی همگی تا قبل از نقطهٔ فرضیِ تکینگی قابل تفکیک بوده و گرانش نیز تا رسیدن به این نقطهِ رو به افزایش باشد.[۴۷,۴۸,۴۹,۵۰,۵۱]

شکل ۲۴
(تصویر راست) نیروی گرانش تنها نیروی موجود در سیاهچالهٔ کیهانی. (تصویر چپ) وجود نیروهای چهارگانه به صورت نسبی در درون سیاهچاله‌های درون کیهانی

اما درون سیاهچالهٔ کیهانی، از چهار نیروی بنیادین، فقط گرانش باقی می‌ماند. این گرانشِ رو به بی‌نهایت، با مچاله کردن هستهٔ اتم، موجب حذف سایرِ میدان‌های بنیادین شده و باعث می‌شود تا خود اتم و هر ذرهٔ بنیادینِ دیگر ماهیت خود را کاملاً از دست بدهند و همه انواع ماده باهم به وحدت برسند. (شکل ۲۴)

مقایسه از منظر زمان

زمان در سیاهچاله‌های درون کیهانی از دیدگاه ناظر خارج از آن طبق نظریهٔ نسبیت به صورت نسبی کند است.[۵۲،۵۳،۵۴] اما اولاً در سیاهچالهٔ کیهانی مقولهٔ زمان به شکل نیروی آنتروپیایی معرفی می‌شود و ثانیا در صورت نگاه به این موضوع از زاویهٔ نسبیت عام، در سیاهچالهٔ کیهانی زمان در کندترین حالت ممکن خود قرار دارد. (شکل ۲۵)

شکل ۲۵
گذر زمان در سیاهچالهٔ درون کیهانی و سیاهچالهٔ کیهانی

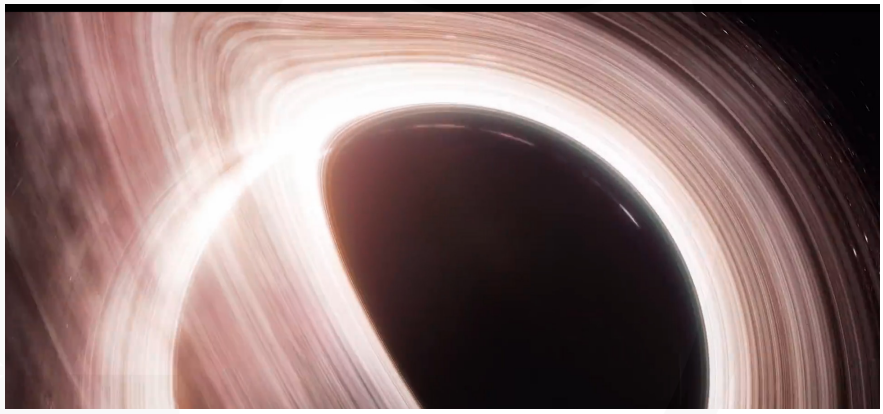
مقایسه از منظر فضا

فضا در اطراف و در داخل سیاهچاله‌های درون کیهانی به صورت نسبی منقبض می‌شود. به عبارتی فضا در حد بحرانی و مچالگی خود نیست.[۵۵] این در حالی است که فضای درون سیاهچالهٔ کیهانی در کوچکترین حجم خود یعنی در نهایت فشردگی و انقباض قرار دارد؛ در واقع این فشردگی میل به سمت صفر داشته ولی خود صفر نمی‌شود. چون در این صورت سیاهچالهٔ کیهانی محو خواهد شد. از طرفی در اطراف سیاهچالهٔ کیهانی فضا و زمانی وجود ندارد که با انقباض مواجه شود. (شکل ۲۶)

شکل ۲۶
(تصویر چپ) فشردگی نسبی فضا در اطراف و درون سیاهچالهٔ درون کیهانی و وجود فضا و زمان در اطراف آن. (تصویر راست) فشردگی حداکثری فضا در درون سیاهچالهٔ کیهانی و عدم وجود فضا زمان در اطراف آن

مقایسه از منظر فوتون کره و بار الکتریکی

امواج نوری که به دور سیاهچاله‌های قدرتمند می‌چرخند باعث ایجاد یک هاله می‌شوند که به آن فوتون کره می‌گویند. با این اوصاف برخی از انواع سیاهچاله‌های درون کیهانی دارای فوتون کره و بار الکتریکی هستند.[۵۶،۵۷،۵۸،۵۹] در حالی که سیاهچالهٔ کیهانی به دلیل عدم حضور فضا و همچنین نبود انرژی و ذرات بنیادین در اطراف خود، نمی‌تواند فوتون کره و بار الکتریکی داشته باشد. (شکل ۲۷)

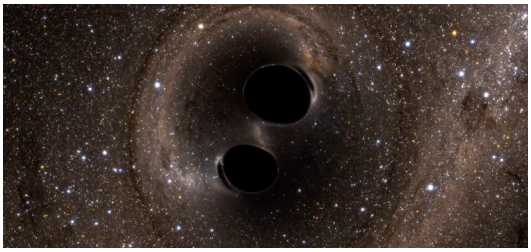


شکل ۲۷
(تصویر چپ) عدم وجود فوتون کره و بار الکتریکی در سیاهچالهٔ کیهانی. (تصویر راست) وجود فوتون کره و بار الکتریکی در سیاهچاله‌های درون کیهانی

مقایسه از منظر قابلیت ترکیب

سیاهچاله‌های درون کیهانی قابلیت ادغام و ترکیب شدن با یکدیگر را دارند و هنگامی که به هم نزدیک می‌شوند با عمل ترکیب به یک سیاهچالهٔ بزرگتر با جرم بیشتر و گرانش قویتر تبدیل می‌شوند.[۶۰،۶۱،۶۲] (شکل ۲۶)

اما سیاهچالهٔ کیهانی کاملاً تنها و یکتاست و جرم دیگری خارج از آن وجود ندارد که امکان ترکیب شدن با آن را داشته باشد.



شکل ۲۸
(تصویر راست) عدم ترکیب با همنوع، در سیاهچالهٔ درون کیهانی به خاطر یکتایی آن. (تصویر چپ) وجود ترکیب در سیاهچاله‌های درون کیهانی

منابع

[1] Jones, A. Z. (2019, January 29). *Description & Origins of Inflation Theory*. ThoughtCo. www.thoughtco.com/what-is-inflation-theory-2698852

[2] Guth, A. H. (2004). Inflation. In Freedman, W. L. (Eds.), *Measuring and Modeling the Universe* (pp. 31-51). Cambridge: Cambridge University Press.

[3] Gleiser, M. (2023, May 24). *Is the Universe a quantum fluctuation?* Big Think. https://bigthink.com/13-8/universe-quantum-fluctuation/

[4] Harvard & Smithsonian, Center for Astrophysics. (n.d.). *What happened in the early universe?* https://pweb.cfa.harvard.edu/big-questions/what-happened-early-universe

[5] Maziashvili, M. (2006). *Quantum Fluctuations of Space-Time*. *arXiv*, https://arxiv.org/abs/hep-ph/0605146

[6] Wolchover, N. (2019, June 6). *Physicists Debate Hawking's Idea That the Universe Had No Beginning*. Quantamagazine. https://www.quantamagazine.org/physicists-debate-hawkings-idea-that-the-universe-had-no-beginning-20190606/

[7] Page, D. N. (2006). *Susskind's Challenge to the Hartle-Hawking No-Boundary Proposal and Possible Resolutions*. *arXiv*, https://arxiv.org/abs/hep-th/0610199

[8] Hawking, S. W. (1993). The no-boundary proposal and the arrow of time. *Vistas in Astronomy, 37*, 559-568.

[9] Feldbrugge, J. L., Lehners, J. L., & Turok, N. (2017). No rescue for the no boundary proposal: Pointers to the future of quantum cosmology. *Physical Review D, 97*, 023509.

[10] Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2012, January 9). Friedmann universe. Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/science/Friedmann-universe

[11] Schwarzschild, K. (1999). On the Gravitational Field of a Sphere of Incompressible Fluid according to Einstein's Theory (S. Antoci., Trans.). Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften [Berlin]. (Original work published in 1916). https://arxiv.org/pdf/physics/9912033.pdf

[12] NASA. (n.d.). *Black Holes*. NASA Science. Retrieved from https://science.nasa.gov/universe/black-holes/

[13] Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2023, December 22). Event horizon. Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/topic/event-horizon-black-hole

[14] Lea, R., & Choi, C. Q. (2023, March 4). *What is a black hole event horizon (and what happens there)?* Space.com. https://www.space.com/black-holes-event-horizon-explained.html

[15] Schutz, B. (2003). *Gravity from the Ground Up: An Introductory Guide to Gravity and General Relativity*. Cambridge: Cambridge University Press.

[16] Davies, P. C. W. (1978). Thermodynamics of Black Holes. *Reports on Progress in Physics*, *41*(8), 1313–1355.

[17] NASA Science Editorial Team. (2019, September 23). *10 Questions You Might Have About Black Holes*. NASA. https://science.nasa.gov/universe/10-questions-you-might-have-about-black-holes

[18] Nakazato, K. i., Sumiyoshi, K., Suzuki, H., & Yamada, S. (2008). Oscillation and future detection of failed supernova neutrinos from a black-hole-forming collapse. *Physical Review D, 78*(8), 083014.

[19] Kodama, H. (2004). *Perturbative Uniqueness of Black Holes near the Static Limit in All Dimensions*. *Prog.Theor.Phys. 112* (2004) 249-274. *arXiv*, https://arxiv.org/abs/hep-th/0403239

[20] Freudenrich, C. (2023, September 8). *How Black Holes Work*. Howstuffworks. https://science.howstuffworks.com/dictionary/astronomy-terms/black-hole.htm

[21] Oxford Reference (n.d). Static limit. In *A Dictionary of Astronomy* [Online]. Retrieved from https://www.oxfordreference.com/display/10.1093/oi/authority.20110803100529279

[22] Griest, K. (Spring 2014). *Physics 161: Black Holes*. *Section 14.4: The Ergosphere* [Course Book]. University of California. Retrieved from https://courses.physics.ucsd.edu/2014/Spring/physics161/book.pdf

[23] NASA. (n.d.). *Anatomy of a Black Hole*. https://science.nasa.gov/universe/black-holes/anatomy/

[24] NASA. (2019, September 25). *NASA Visualization Shows a Black Hole's Warped World*. https://www.nasa.gov/universe/nasa-visualization-shows-a-black-holes-warped-world/

[25] Lea, R. (2023, June 28). *Distortions in space-time could put Einstein's theory of relativity to the ultimate test*. LiveScience. https://www.livescience.com/physics-mathematics/quantum-physics/distortions-in-space-time-could-put-einsteins-theory-of-relativity-to-the-ultimate-test

[26] Sobral-Blanco, D., & Bonvin, C. (2023). Measuring the distortion of time with relativistic effects in large-scale structure. *MNRAS Letters 519*, L39 (2023). *arXiv*, https://arxiv.org/abs/2205.02567

[27] Baird, C. S. (2013, September 13). *Does every black hole contain a singularity?* Science Questions with Surprising Answers. https://www.wtamu.edu/~cbaird/sq/2013/09/13/does-every-black-hole-contain-a-singularity/

[28] Turner, C. (2019, April 14). *Astronomers Reveal First Direct Visual Evidence of a Supermassive Black Hole*. SciTechDaily. https://scitechdaily.com/astronomers-reveal-first-direct-visual-evidence-of-a-supermassive-black-hole/

[29] Lu, H., & Lyu, H. (2019). On the Size of a Black Hole: The Schwarzschild is the Biggest. *Phys. Rev. D 101*, 044059. *arXiv*, https://arxiv.org/abs/1911.02019

[30] Bel, Ll. (2007). Uber das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einstenschen Theorie. *arXiv*, https://arxiv.org/abs/0709.2257

[31] Wang, X., Li, R., & Wang, J. (2021). Islands and Page curves of Reissner-Nordström black holes. J. *High Energ. Phys*. 2021, *103*. *arXiv*, https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.06867

[32] Teukolsky, S. A. (2015). The Kerr Metric. *Classical and Quantum Gravity*, *32*(12), 124006. https://doi.org/10.1088/0264-9381/32/12/124006

[33] Newman, E. T., & Janis, A. I. (1965). Note on the Kerr Spinning-Particle Metric. *Journal of Mathematical Physics*, *6*(6), 915–917. file:///C:/Users/64204/Downloads/J_Math_Phys_Newman_1_copy.pdf

[34] Drake, S. P., & Szekeres, P. (1998). An explanation of the Newman-Janis Algorithm. *Gen.Rel. Grav.32*:445-458,2000. *arXiv*, https://doi.org/10.48550/arXiv.gr-qc/9807001

[35] Adamo, T., & Newman, E. T. (2014). The Kerr-Newman metric: A Review. General Relativity and Quantum Cosmology. *Scholarpedia 9*: 31791, 2014. *arXiv*, https://doi.org/10.48550/arXiv.1410.6626

[36] Kramer, H. J. (2019, April 12). *Black Hole Image 2019*. eoPortal, Astronomy and Telescopes. https://www.eoportal.org/other-space-activities/black-hole#before-and-after

[37] May, A. (2021, August 25). *8 ways we know that black holes really do exist*. Live Science. https://www.livescience.com/how-we-know-black-holes-exist.html

[38] Clegg, B. (2020, July 4). *What is a black hole and how did we discover them?* BBC Science Focus. https://www.sciencefocus.com/space/black-holes

[39] Grossman, D. (2019, April 10). *How They Got the Black Hole Picture That Changed Science*. Popular Mechanics. https://www.popularmechanics.com/space/deep-space/a27099934/eht-black-hole-picture

[40] Kaplan, I. G. (2019). Pauli Exclusion Principle and its theoretical foundation. *arXiv*, https://arxiv.org/abs/1902.00499

[41] Bethe, H. A., Brown, G. E, & Lee, C. H. (2003). How A Supernova Explodes. In *Formation And Evolution of Black Holes in the Galaxy: Selected Papers with Commentary* (pp. 51-61). World Scientific Publishing Company.

[42] Harvard & Smithsonian Center for Astrophysics. (n.d.). *Black Holes*. https://www.cfa.harvard.edu/research/topic/black-holes

[43] Lü, H., & Lyu, H. D. (2020). Schwarzschild black holes have the largest size. *Physical Review D*, *101*(044059). https://doi.org/10.1103/PhysRevD.101.044059

[44] Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2024, March 20). Schwarzschild radius. Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/science/Schwarzschild-radius

[45] Su, B. Y., Wang, Y. Y., & Li, N. (2019). The Hawking-Page phase transitions in the extended phase space in the Gauss-Bonnet gravity. *arXiv*, https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.07155

[46] Ghosh, A. (2019). Hawking Radiation – Revisited. *arXiv*, https://arxiv.org/pdf/1901.10069.pdf Gold (https://physics.stackexchange.com/users/21146/gold), Are the fundamental forces unified in a black hole?, URL (version: 2017-03-23): https://physics.stackexchange.com/q/316629

[47] Husain, V., Kelly, J. G., Santacruz, R., & Wilson-Ewing, E. (2022). Quantum Gravity of Dust Collapse: Shock Waves from Black Holes. *Physical Review Letters*, *128*(121301). https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.121301

[48] Pound, A., & Wardell, B. (2021). Black hole perturbation theory and gravitational self-force. *arXiv*, https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.04592

[49] Ross, G. (2003). *Grand Unified Theories*. Boulder, Colorado: Westview Press.

[50] Georgi, H., & Glashow, S. L. (1974). Unity of All Elementary-Particle Forces. *Physical Review Letters*, *32*, 438.

[51] Einstein, A. (2011). *Relativity – The Special and General Theory* (Originally published in 1916). Read Books Ltd.

[52] Profound Physics. (n.d.). *Why Time Slows Down Near a Black Hole*. https://profoundphysics.com/why-time-slows-down-near-a-black-hole/

[53] Annika Peterson (https://physics.stackexchange.com/users/4179/annika-peterson), How exactly does time slow down near a black hole?, URL (version: 2014-03-26): https://physics.stackexchange.com/q/25759

[54] LibreTexts. (n.d.). Spacetime Near Black Holes. In Coble, K., et al. (Eds.), Big Ideas in Cosmology. Retrieved from https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Astronomy__Cosmology/Big_Ideas_in_Cosmology_(Coble_et_al.)/11%3A_Black_Holes/11.02%3A_Spacetime_Near_Black_Holes

[55] Wang, H.-T., Li, P.-C., Jiang, J.-L., Yuan, G.-W., Hu, Y.-M., & Fan, Y.-Z. (2021). Constrains on the electric charges of the binary black holes with GWTC-1 events. *The European Physical Journal C*, *81*(8), 769.

[56] Ted Bunn (https://physics.stackexchange.com/users/1241/ted-bunn), *Detection of the Electric Charge of a Black Hole: How can an electromagnetic field escape the event horizon of a Reissner-Nordström black hole?*, URL (version: 2011-07-12): https://physics.stackexchange.com/q/12171

[57] Zaumen, W. T. (1974). Upper bound on the electric charge of a black hole. *Nature, 247*(5442), 530-531. doi:10.1038/247530a0

[58] Zajaček, M., & Tursunov, A. (2019). Electric charge of black holes: Is it really always negligible? *arXiv*,https://arxiv.org/abs/1904.04654

[59] Lea, R. (2022, May 31). *A black hole formed by a lopsided merger may have gone rogue.* Space.comhttps://www.space.com/black-hole-escaping-galaxy-from-collision

[60] Varma, V., Biscoveanu, S., Islam, T., Shaik, F. H., Haster, C.-J., Isi, M., . . . Vitale, S. (2022). Evidence of Large Recoil Velocity from a Black Hole Merger Signal. *Physical Review Letters, 128*(19), 191102. doi:10.1103/PhysRevLett.128.191102

[61] Raccanelli, A., Kovetz, E. D., Bird, S., Cholis, I., & Muñoz, J. B. (2016). Determining the progenitors of merging black-hole binaries. *Physical Review D, 94*(2), 023516. doi:10.1103/PhysRevD.94.023516

[62] Carr, B. (Ed.). (2010). *Universe or Multiverse?* Cambridge: Cambridge University Press.

[63] Mersini-Houghton, L. (2023). *Before the Big Bang: The Origin of the Universe from the Multiverse*. Mariner Books.

[64] O'Raifeartaigh, C., McCann, B., Nahm, W., & Mitton, S. (2014). Einstein's steady-state model of the universe. *arXiv*, https://arxiv.org/abs/1402.0132

[65] Becker, K., Becker, M., & Schwarz, J. H. (2006). *String Theory and M-Theory: A Modern Introduction.* Cambridge: Cambridge University Press.

[66] Bojowald, B. (2012). Loop quantum gravity and cosmology. In Murugan, J., Weltman, A. & George F. R. Ellis (Eds.), *Foundations of Space and Time: Reflections on Quantum Gravity* (pp. 211–256). Cambridge: Cambridge University Press.