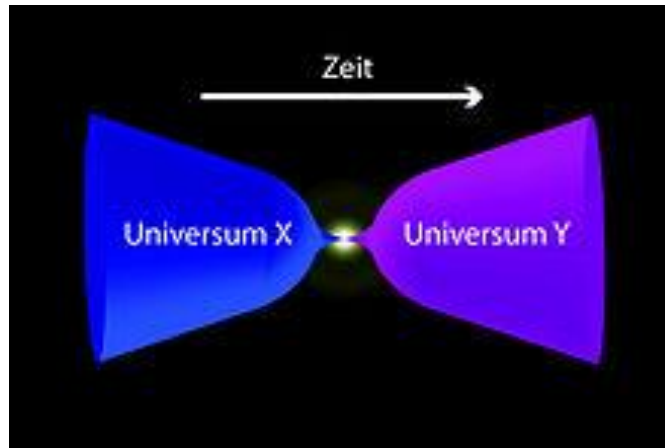


کیهان‌شناسی کوانتومی



Quantum cosmology

تصویر ۱: در کیهان‌شناسی کوانتومی تصور می‌شود که کیهان ما (Y) از بازگشت (rebound) و فروپاشی کیهان (X) بوجود آمده است.^۱

توصیف کیهان به‌عنوان یک سیستم فیزیکی خواهان توضیح علمی علت انفجار بزرگ و شرایط حاکم در آن مقطع است. به‌نظر، علمی که توان این کار را دارد، علم کیهان‌شناسی کوانتومی است که کیهان را یک سیستم کوانتومی تلقی می‌کند.

فشرده

در حال حاضر اساس علم کیهان‌شناسی را نظریه نسبیت عام اینشتین^۲ که یک نظریه کلاسیک است تشکیل می‌دهد. اما این نظریه تنها توسعه و تحولات کیهان را پس از به اصطلاح انفجار بزرگ^۳ توضیح می‌دهد. یعنی، نسبیت عام اینشتین هیچ اظهار نظری در باره‌ی حالت "پیش" از انفجار، علت انفجار و مراحل اولیه پس از انفجار نمی‌کند و نمی‌تواند بکند. بیگمان این وضع و نیز بی‌اطلاعی ما از بخش‌های بزرگی از کیهان مانند ماده‌ی تاریک و انرژی تاریک (۴) که بیش از ۹۵٪ کیهان را تشکیل می‌دهند، بیان از کاستی‌های جدی در علم کیهان‌شناسی دارد.

به‌نظر علت حجم بالا از کاستی‌ها در علم کیهان‌شناسی در حله‌ی اول به نبود نظریه‌ای واحد از نیروهای پایه‌ای^۴ برمی‌گردد. یعنی، به بی‌اطلاعی ما از نیروی اولیه‌ای که نیروهای اساسی فیزیک (گرانش، الکترومغناطیس، ضعیف و قوی) از آن مشتق شده‌اند. از اینرو قابل تصور است که علم کیهان‌شناسی کلاسیک^۵ توان توضیح مسائلی مانند علت انفجار بزرگ را نداشته باشد. چرا که از چهار نیروی پایه‌ای دو نیرو، یعنی نیروی ضعیف و نیروی قوی، در قلمرو نظریه نسبیت عام نیستند. لذا طبیعی است که این نظریه نتواند مسئله‌ی انفجار بزرگ و فرایندهای اولیه‌ی پس از آن را حل نماید و پاسخ‌های بی‌معنا، مانند فشار بی‌نهایت، چگالی بی‌نهایت و دمای بی‌نهایت برای این مقطع ارائه دهد. در حالیکه ما می‌دانیم در علم فیزیک کمیت‌های بی‌نهایت محلی از اعراب ندارند.

توصیف کیهان به‌عنوان یک سیستم فیزیکی از جمله خواهان توضیح علمی علت انفجار بزرگ مرتبط با داده‌ها و شرایط حاکم در آن مقطع است. به‌نظر، علمی که توان این کار را دارد، نظریه علم کیهان‌شناسی کوانتومی است. در این نظریه کیهان به‌عنوان یک سیستم کوانتومی تصور می‌شود. برای دستیابی به چنین نظریه‌ای لازم است که نیروی گرانش نیز مانند سه نیروی دیگر به‌عنوان گرانش کوانتومی^۶ کوانتیزه شود تا که شاید با وحدت این نیروها بشود به نیروی اولیه و با آن به منشاء کیهان دست یافت. آرزویی که تاکنون عملی نشده است. با این وجود فیزیکدان‌ها در تلاشند و امیدوارند به این بزرگترین مسئله‌ی علم فیزیک چیره شوند. مسئله‌ای که پس از گذشت یک قرن همچنان بی‌پاسخ مانده است.

در این مقاله می‌کوشم ابتدا نظریه کیهان کوانتومی را توضیح دهم تا در ادامه به شرح کیهان‌شناسی کوانتومی بپردازم.

یادآوری:

۱. در مقاله‌ی 'مهبانگ و پیدایش کیهان'،^۳ مفهوم مهبانگ، تاریخچه‌ی مهبانگ و کیهان، مهبانگ کجا بود و ... را توضیح دادیم.

۲. در مقاله‌ی 'کیهان‌شناسی کلاسیک'،^۵ هندسه‌سازی فیزیک، گرانش کلاسیک و کیهان‌شناسی کلاسیک توضیح داده شده است.
 ۳. در مقاله‌ی 'گرانش کوانتومی'،^۶ مفهوم کوانتوم و نظریه کوانتوم، فضا‌زمان پانگ - میلز و گرانش کوانتومی را شرح دادیم.

نظریه کیهان کوانتومی

طبق توضیحات مقالات یادآوری شده، فیزیک کلاسیک اعتبار خود را در مقیاس پلانک به‌طور کلی از دست می‌دهد. درست به‌همین دلیل برای تشریح روخدادها در مقیاس پلانک نیاز به نظریه‌ی جدیدی است. اما در حال حاضر جز یافته‌های محدود نظری در حد گرانش کوانتومی حلقه^۶، اطلاع چندانی از دنیای کوانتومی در مقیاس پلانک نداریم. با این حال قابل تصور است که در صورت دستیابی به چنان نظریه‌ای عصر تازه‌ای به نام عصر کیهان کوانتومی به رویمان گشوده خواهد شد. نظریه‌ای که قادر به توضیح منشاء کیهان (انفجار بزرگ) و مراحل اولیه‌ی شکل‌گیری آن باشد که در حال حاضر کوچکترین اطلاعی از آن نداریم.

نظریه کوانتوم ماده را شکل‌گرفته از میدان‌های کوانتومی می‌داند. میدان‌های کوانتومی خود را در شکل امواجی مانند امواج الکترومغناطیسی (متشکل از ذرات فوتون) نشان می‌دهند. از ذرات کوانتومی مربوطه، هسته‌ی اتم‌ها، اتم‌ها، ملکول‌ها و از این‌ها ساختارهای مختلف جاندار و بیجان مانند گیاهان، حیوانات، سیارات، ستارگان و کهکشان‌ها شکل می‌گیرند. ساختارهایی که برای توصیف آنها از مقوله‌ی فضا‌زمان بهره می‌جوئیم.

پیوند ماده و فضا‌زمان را آلبرت اینشتین در نظریه نسبیت عام نشان داده است. در مقابل پیوندی مشابه آن در نظریه کوانتوم که مورد تأیید جامعه فیزیکدان‌ها باشد تاکنون ارائه نشده است. هرچند تلاش فراوانی برای حل این مسئله شده و کماکان می‌شود. مدل‌ها و نظریه‌های ارائه شده تاکنون، مانند نظریه ریسمان‌ها یا نظریه گرانش کوانتوم حلقه که به‌نظر دومی شانس موفقیت بیشتری دارد^۷، هیچیک نتوانستند آن‌طور که لازم است فضا‌زمان کوانتومی (فضا‌زمان پلانک) را توضیح دهند. مشکل کجاست؟

برای روشن شدن موضوع مثال میدان گرانشی را در نظر می‌گیریم. وقتی می‌خواهیم میدان گرانش یک ذره را با توجه به نظریه کوانتوم (اصل عدم قطعیت) تعریف کنیم، درمی‌یابیم که گرانش مربوطه با قطعیت تمام تعریف‌پذیر نیست. به این دلیل که ما در اینجا با اصلی به نام عدم قطعیت مواجه هستیم. در اینبار در مقاله‌ی 'کوانتوم و معرفت‌شناسی'^۸ می‌خوانیم:

"در دنیای کوانتوم اصل عدم قطعیت حاکم است، به این معنا که ما نمی‌توانیم برای مثال مکان و تکانه‌ی یک کمیت کوانتومی را همزمان به‌طور دقیق تعیین کنیم. لازم است این اصل را همواره در بحث‌های علمی و فلسفی در نظر داشته باشیم. اما در دنیای کلاسیک گمان می‌کنیم که قادریم کمیت‌ها را به‌طور دقیق اندازه‌گیری کنیم."^۸

گفتیم که ماده (انرژی) سبب خمیدگی فضا می‌شود و هرچه مقدار ماده بیشتر باشد خمیدگی فضا نیز شدیدتر است. در واقع به محض اینکه چگالی جسمی از حد معینی (چگالی بحرانی $\rho = M/V = M / 4/3 \cdot \pi \cdot 8G^3 M^3 / c^6$) به ترتیب عبارتند از جرم، ضریب گرانش و سرعت نور) بیشتر شود سیاه‌چاله شکل می‌گیرد. در این حالت نه تنها امکان اندازه‌گیری فضا بلکه همین‌طور سایر کمیت‌های فیزیکی وجود ندارد. مرز کوچکترین ابعاد قابل سنجش را یکاهای (واحدهای) پلانک تشکیل می‌دهند، مانند طول پلانک حدود 10^{-35} متر، زمان پلانک حدود 10^{-43} ثانیه، جرم پلانک حدود 10^{-8} کیلوگرم و یا دمای پلانک حدود 10^{32} کلوین. فضا‌زمان کوانتومی و گرانش کوانتومی جزو این مقیاس‌هاست. در این محدوده نه فضا‌زمان به‌معنای کلاسیکی آن بلکه فضا‌زمان کوانتومی را داریم. اما فضا‌زمان کوانتومی به چه معنایی می‌تواند باشد؟

"در دهه‌ی سوم قرن بیستم ماتوی پتروویچ برنشتین (Matvei Petrovich Bronstein)، فیزیکدان روسی (۱۹۳۸-۱۹۰۶)، نشان داد^۹ که نظریه کوانتوم و نظریه نسبیت عام با تصورات ما از فضا به‌عنوان پیوستاری که بی‌نهایت قابل تقسیم است همخوانی ندارد."^۹

نیم قرن پس از برنشتین و در پی پیشرفت‌هایی در نظریه کوانتوم، مسئله‌ی فضا‌زمان کوانتومی (گرانش کوانتومی) مورد توجه فیزیکدان‌ها قرار می‌گیرد. ریچارد فاینمن، فیزیکدان آمریکایی (۱۹۸۸-۱۹۱۸)، کوشید روشی را که او برای فوتون‌ها و الکترون‌ها (کوانتوم الکترودینامیک) یافته بود در مورد نسبیت عام نیز بکارگیرد. اما این روش نمی‌توانست به نتیجه‌ی دلخواه بیانجامد. چراکه فوتون‌ها و الکترون‌ها ذراتی می‌باشند در فضای موجود. در حالیکه در گرانش کوانتوم خود فضاست که کوانتومی در نظر گرفته می‌شود. یعنی، در اینجا چپستی فضا و بافت آن مطرح است. فضا در نظریه کوانتومی به معنایی که از فیزیک کلاسیک می‌شناسیم نیست.^۷ مشابه آنچه در باره‌ی فضا گفتیم در مورد زمان نیز صادق است. به این معنا که زمان به تعریف کلاسیکی آن اصولن در مبانی نظریه گرانش کوانتوم وجود ندارد. یعنی، کوانتای (کوانتوم‌های) نظریه گرانش کوانتومی در زمان توسعه نمی‌یابند بلکه ذرات کوانتومی با کنش و واکنش‌های خود چیزی را به نام زمان

توصیف‌پذیر می‌کند. از این منظر است که می‌گوئیم کیهان در (فضا-) زمان موجود منبسط نشده است، بلکه فرایندهای کیهان، (فضا-) زمان و جهت زمان را تعریف و تعیین می‌کنند.

مقوله زمان همچون مقوله فضا بنوعی ریشه در میدان گرانش کوانتومی دارد. البته این گفته نایبستی چندان عجیب به‌نظر آید. چرا که مقوله‌ی زمان پیشتر در نظریه نسبیت عام اینشتین به‌عنوان جنبه‌ای (بُعدی) از میدان گرانش کلاسیک (فضازمان^۴ بُعدی) بیان شده است.^۲

خلاصه اینکه در نظریه کیهان کوانتومی، نه تئوری کوانتومی ذرات و میدان‌ها در فضازمان بلکه نظریه کوانتوم برای خود فضازمان را مدنظر است. به عبارت دیگر، در اینجا نظریه‌ی قضا و زمان نقش پس‌زمینه‌ی غیرفعال برای کنش و واکنش‌های میان ذرات و میدان‌ها را بازی نمی‌کنند بلکه خود بخشی از آن چیزی هستند که رخ می‌دهد، یعنی در آنچه اتفاق می‌افتد نقش دارند.^۶

اینشتین در اوایل قرن گذشته نشان داد که هر شیء مادی در هر نقطه‌ای از کیهان ساعت ویژه‌ی (Eigenzeit) خود را دارد و فواصل "تیک تاک" آن از جانب میدان گرانشی محل مربوطه تعیین می‌گردد. "اما همین ساعت محلی نیز اعتبار خود را از دست می‌دهد وقتی طبیعت کوانتومی میدان گرانشی در نظر گرفته شود. یعنی، در کوچکترین مقیاس ممکن، رویدادهای کوانتومی دیگر نمی‌توانند در زمان مرتب شوند."^۷ در مقاله‌ی^{۱۰} 'فضازمان اَبَرسیال' در این‌باره می‌خوانیم:

"فیزیکدان‌های نظری سناریوهائی (مدل‌هائی) را طراحی و بررسی می‌کنند^{۱۱} که به‌نظر امکان بیان کوانتومی فضازمان را می‌دهند. در سناریویی از سال ۱۹۹۹ ... فضازمان رَوان، سیال، تصور شده است. ... در علم فیزیک گاز یا مایعی که اصطکاک داخلی آن ناچیز است رَوان (سیال) و چنانچه (تقریباً) برابر با صفر باشد اَبَرروان (اَبَرسیال) نامیده می‌شود. شاخه‌ی علمی که به بررسی این حالت از ماده می‌پردازد هیبرودینامیک کوانتومی نام دارد. ... در مدل فضازمان اَبَرسیال، فضازمان شکل‌گرفته از اثرات ذرات کوانتومی آن تصور می‌شود که در کوچکترین سطح به واحدهای منفرد (ناپیوسته) در مقیاس پلانک (حدود^{۳۵-۱۰} متر) تقسیم شده است. این حالت را که می‌تواند ناشی از شکل‌گیری ماده و پادماده از خلاء کوانتومی^{۱۲} باشد جان ویلر، فیزیکدان نظری آمریکایی (۲۰۰۸ - ۱۹۱۱) کف کوانتومی (quantum foam) می‌نامد.^{۱۴} در کف کوانتومی که بعضاً به آن کف فضازمان نیز می‌گویند نظریه نسبیت عام اعتبار خود را از دست می‌دهد. در یک چنین حالتی اصل عدم قطعیت دست بالا را در فرایندها دارد، به‌ویژه در رابطه با انرژی و زمان. ما می‌دانیم که اصل عدم قطعیت اندازه‌گیری دقیق و همزمان انرژی و زمان را ناممکن می‌داند.^{۱۵} در نتیجه وضعیتی مشابه آنچه کف کوانتومی نامیده می‌شود بوجود می‌آید.

ارائه دهندگان مدل نامبرده براین باورند که لُزجت، گران‌روی یا ناروانی و یا ویسکوزیته (viscosity) فضازمان قابل اغماض و در نتیجه اَبَرسیال است. ویسکوزیته یا اصطکاک یک ماده پارامتریست که میزان مقاومت آن را در مقابل جاری شدن نشان می‌دهد. ... پارامتر ویسکوزیته در رد و یا تایید صحت مدل فضازمان اَبَرسیال برای توضیح چپستی فضازمان رُل تعیین کننده دارد. ... ارائه دهندگان مدل فضازمان اَبَرسیال می‌گویند: اینکه اصولاً نور ستارگان و یا کهکشان‌های بسیار دور پس از میلیاردها سال نوری به ما می‌رسد گویای آن است که ویسکوزیته‌ی فضازمان نمی‌تواند بالا باشد. ... مشاهدات سحابی‌خ‌چنگ نشان داد که ویسکوزیته‌ی فضازمان باید برابر با صفر و یا نزدیک به صفر باشد، چرا که هیچ نشانی از تغییر در طیف نور، به معنای اتلاف انرژی فوتون‌ها، ملاحظه نشده است.^{۱۰}

کیهان‌شناسی کوانتومی

کیهان‌شناسی کوانتومی یک رویکرد نظری در علم فیزیک است که تلاش دارد اثرات نظریه کوانتوم را در رابطه با مهبانگ یا بیگ بنگ (انفجار بزرگ) و تحولات اولیه‌ی پس از آن را بررسی کند. یعنی، ضمن پیش‌گیری از مسئله‌ی تکنیکی نسبیت عام به پرسش‌هائی از کیهان‌شناسی پاسخ دهد. در این رابطه ما سه پرسش زیر را مطرح می‌کنیم:

"نقطه‌ی^{۱۱} که خاستگاه انفجار بزرگ (بیگ بنگ) تصور می‌شود در کجا بود، چه ویژگی‌هایی داشت و پیش از آن چه بود؟ در باره‌ی بخش اول این پرسش‌ها، یعنی 'مهبانگ در کجا بود؟' در مقاله‌ی 'مهبانگ و پیدایش کیهان'^۳ می‌خوانیم:

"... مهبانگ به‌معنای انفجاری بزرگ در یک فضای موجود نیست. مهبانگ هیچ شباهتی به انفجار یک نارنجک ندارد. نارنجک در فضای موجود منفجر می‌شود. اما مهبانگ نقطه‌ی آغاز و باعث شکل‌گیری فضاست. از این‌رو همه‌ی نقاط کیهان مرکز آن است. هر نقطه و گوشه‌ای از کیهان ... مرکز دنیاست. درست به‌همین دلیل است که اشعه‌ی زمینه‌ی کیهانی از همه‌ی جهات کیهان تقریباً یکنواخت به ما می‌رسد.

وقتی فضا با مهبانگ پا به عرصه‌ی وجود گذاشته باشد، دیگر این سؤال که "مهبانگ در کجا بود؟" هیچ معنایی ندارد. ولیکن اگر لازم است حتما پاسخی ارائه شود باید گفت هر نقطه‌ای از کیهان از آن مهبانگ است.

در مورد زمان نیز می‌گوئیم، مهبانگ لحظه‌ی آغاز تاریخ کیهان است. آنچه هنوز بر ایمان ناروشن است چگونگی عملکرد "تلنگریست" که سبب پیدایش کیهان و ماده و فضا زمان شده است، البته اگر اصولاً "تلنگری" وجود داشته باشد. شاید با روشن شدن این مطلب بتوان به فیزیک زمان‌های مادون زمان پلانک نیز دست یافت.^۲

و اما پاسخ به بخش دوم پرسش ذکر شده در بالا، یعنی خاستگاه یا "نقطه‌ی انفجار بزرگ چه ویژگی‌هایی داشت؟" گفتیم که داده‌ها و نظریه نسبیت عام نشان می‌دهند که کیهان در حال انبساط است، مطلبی که به‌طور تجربی به اثبات رسیده است. بی‌تردید این امر به اثبات رسیده معنای آن نیز دارد که کیهان می‌باید در گذشته‌های دور کوچک و کوچکتر بوده باشد و زمانی، حدود ۱۳٫۸ میلیارد سال پیش، "نقطه‌ی"ی بیش نبوده باشد. این "نقطه" در نظریه نسبیت عام تکینگی نامیده می‌شود. تکینگی بیان از مرز و یا محدوده‌ای برای فضا زمان دارد که فراتر از آن، نظریه نسبیت عام اینشتین نمی‌تواند اظهار نظر کند. این محدوده منشاء هستی تلقی می‌شود. فهم و درک این محدوده نیازمند نظریه جامع، محیط بر نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتوم به نام نظریه فضا زمان کوانتومی است. شاید این نظریه که به نظریه گرانش کوانتومی^۳ نیز معروف است، بتواند منشاء هستی را عاری از مسئله‌ی تکینگی توصیف کند. به‌نظر حل و درک مسائل مربوط به سیاهچاله‌ها می‌تواند در شناخت از منشاء هستی نقش سازنده بازی کند.

سیاهچاله‌ها مانند سیستم‌های ترمودینامیکی رفتار می‌کنند. اما این مطلب در نظریه نسبیت عام که سیاهچاله‌ها را محدوده‌ی فضا زمان حفظ شده توسط افق رویداد می‌داند در نظر گرفته نشده است. در این باره در مقاله‌ی 'مفهوم ماده در تراکم‌های بسیار بالا'^{۱۳} می‌خوانیم:

"سیاهچاله یا حفزه‌ی سیاه به ناحیه‌ای از فضا زمان گفته می‌شود که از ماده‌ی بشدت بهم‌فشرده تشکیل شده و نیروی گرانشی آن چنان بالاست، یعنی انحنای فضا زمان آن چنان شدید است، که امکان گریز هیچ چیز حتی نور را نمی‌دهد. مرز بیرونی این ناحیه، افق رویداد (event horizon) نامیده می‌شود. افق رویداد منطقه‌ی اطراف سیاهچاله و مرز غیرقابل نفوذ از داخل حفزه‌ی سیاه به بیرون است. اگرچه این نواحی سیاه و نامرئی هستند اما کنش و واکنش گرانشی آن‌ها با ماده‌ی پیرامون خود خبر از موجودیت آن‌ها می‌دهد. کمیت بارز و تعیین کننده‌ی سیاهچاله‌ها چگالی بسیار بالای آنهاست و نه الزاماً جرم زیاد. شایان توجه است بدانیم که افق رویداد مرز انفورماسیون و روابط علی را نیز تعیین می‌کند. طبق فیزیک کوانتوم در نزدیکی افق رویداد ذرات و پادذرات^{۱۲} شکل می‌گیرند. ذرات و پادذرات وجود آمده در دو جهت مخالف، یکی به درون سیاهچاله و دیگری به بیرون از افق رویداد حرکت می‌کنند.

بنابر نظریه‌ی استفن هاوکینگ امکان تبخیر محتوای سیاهچاله‌ها توسط اشعه، اشعه حرارتی که به آن اشعه‌ی هاوکینگ نیز گفته می‌شود، وجود دارد. در صورت تایید این نظریه، معنای آن این خواهد بود که ۱. سیاهچاله‌ها به‌شکل ایده‌آل سیاه نیستند و ۲. آن‌ها جرم خود را در طول زمان بسیار طولانی (بستگی به بزرگی جرم سیاهچاله دارد) از دست خواهند داد. هرچه سیاهچاله بزرگتر باشد تبخیر آن کندتر است.^{۱۳}

در نتیجه برای توصیف محدوده یا "نقطه‌ی انفجار بزرگ (تکینگی، منشاء هستی) نیاز به نظریه‌ای داریم که توان توصیف کنش و واکنش‌ها در محدوده‌ی مربوطه را دارا باشد. یعنی، در حین فراتر رفتن از نظریه نسبیت عام، به معنای کوانتیزه کردن آن محدوده، قادر به توضیح هرآنچه در آن مقطع (فضا زمان پلانک) اتفاق می‌افتد را دارا باشد. سیستم یکاهای (واحدهای) پلانک (جرم پلانک، طول پلانک، زمان پلانک، بار الکتریکی پلانک و دمای پلانک) و واحدهای مشتق شده از آنها^{۱۴} از سه ثابت طبیعی^{۱۵}، یعنی ثابت گرانش G، ثابت سرعت نور در خلاء c و ثابت پلانک h بدست می‌آید.

سرانجام در پاسخ به پرسش سوم ذکر شده در بالا، یعنی 'پیش از مهبانگ چه بود؟' در مقاله‌ی^۳ می‌خوانیم:

"همان‌گونه که پیش‌تر گفتیم 'زمان' پیش فرض علم فیزیک کنونی است. درست به‌همین خاطر نمی‌توان به سؤال 'پیش از مهبانگ چه بود؟' پاسخ علمی داد. با این حال تخیل ما امکان طرح یک چنین پرسشی را می‌دهد که بنوبه‌ی خود سبب اظهار نظرهایی مانند شکل‌گیری کیهان از رُمبش، فروپاشی (rebound, collapse) کیهانی پیش‌تر موجود، کیهانی که تا حد "تکینگی" منقبض شده و با مهبانگ دوباره رو به انبساط گذاشته است (تصویر ۱). بررسی‌های نظری چنین امکانی را مردود نمی‌داند. اما بطور تجربی هیچ نشانی که دال بر صحت داشتن چنین چیزی باشد بدست نیامده است. ... البته توجه داریم که پرسش 'پیش از مهبانگ چه بود؟' بی‌شبهت به پرسش فردی که در شمالی‌ترین نقطه‌ی قطب شمال ایستاده نیست که می‌پرسد 'یک متر شمال‌تر چیست؟' یک متر شمال‌تری وجود ندارد.^۳

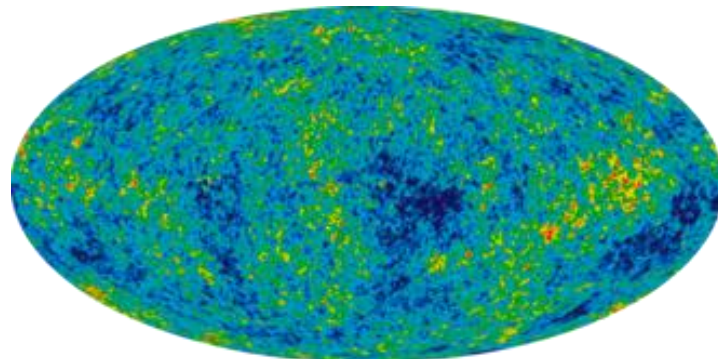
ملاحظه می‌کنیم که ما به هیچیک از پرسش‌های سه‌گانه‌ی ذکر شده در بالا پاسخ قطعی نداریم. با این حال می‌توان این امیدواری را داشت که با ارئه‌ی نظریه‌ای به نام 'گرنش کوانتومی'^۶ برای مثال در شکل 'گرنش کوانتومی حلقه'^{۱۷} (نظریه نسبیت عام کوانتیزه شده) و یا 'نظریه ریسمان‌ها'^{۱۷} بتوان به پرسش‌های ذکر شده‌ی سه‌گانه پاسخ‌های مناسب داد. کیهانی که با این نظریه‌ها توصیف گردد معنایی جز آن ندارد که کمیت‌های آن جملگی ناپیوسته هستند. البته ناگفته نماند که هم اکنون نیز فیزیک کوانتومی موجود تمامی کمیت‌های فیزیکی را ناپیوسته (discreet) می‌داند. در این حالت هیچ کمیتی نمی‌تواند مقدار آن برابر با صفر باشد، یعنی، پیش از بیگ بنگ چیزی بزرگتر از تکینگی وجود داشته است (تصویر ۱).^۱

روشن است که پذیرش یک نظریه تنها زمانی شدنی (مقدور) است که بطرز تجربی به اثبات رسیده باشد. اما این مطلب مهم در باره‌ی موضوع مورد نظر ما کاریست بسیار دشوار، به‌ویژه به این خاطر که طبیعت در اینجا به آسانی اسرار خود را فاش نمی‌کند. به‌نظر در حال حاضر برای پیدا کردن شواهد تجربی برای نظریه کیهان‌شناسی کوانتومی بطور عمده دو امکان داریم: ۱. جستجو در پرتو پس زمینه‌ی کیهانی و ۲. جستجو در ساختار سیاه‌چاله‌ها.

۱. جستجو در پرتو پس زمینه‌ی کیهانی:

اصل کیهان‌شناسی^۲ می‌گوید کیهان در هر نقطه‌ای و در همه‌ی جهات برای فاصله‌های بزرگ یکسان دیده می‌شود. یکسان به این معنا که بخش قابل مشاهده‌ی کیهان همگن و همسانگرد است، یعنی هیچیک از جهات آن فرقی باهم ندارد. در این رابطه در مقاله‌ی^۳ می‌خوانیم:

"در سال ۱۹۸۱، آلن گوت فرضیه‌ی تورم را برای حل مسئله‌ی افق رویداد و توضیح همگنی و همسانگردی بخش قابل رؤیت کیهان ارائه داد. فرضیه‌ی تورم متکی به مشاهدات همسانگردی تابش زمینه‌ی کیهانی (تصویر ۲) است. این فرضیه بعدها از جانب آندری لاینده توسعه یافت و اکنون به‌عنوان مدلی برای فاز تورمی کیهان پذیرفته شده است."^۳



تصویر ۲: تابش پس‌زمینه کیهانی؛ نوسانات دما در تشعشعات پس‌زمینه، ثبت شده توسط فضاپیمای دبلیومپ WMAP (مأموریت ۲۰۰۱-۲۰۰۵)^۵

به‌نظر مدل یا نظریه تورم راه حل و مکانیسم شناخت منشاء ساختار کیهان در مقیاس بزرگ را ارائه می‌دهد و می‌تواند با مشاهدات ناهمسانگردی در پرتو پس زمینه‌ی کیهانی آزمایش شود. "نوامبر ۱۹۸۹ شاهد پرتاب ماهواره‌ی کاوشگر پس زمینه‌ی کیهانی بود. اندازه‌گیری با طیف‌سنج آن به زودی ماهیت حرارتی پرتو پس زمینه‌ی کیهانی را مشخص کرد و دمای آن را تا سه رقم اعتبار تعیین نمود؛ دقتی که در کیهان‌شناسی بی‌سابقه است. کمی بعد، ناهمسانگردهای پس زمینه‌ی مایکروویو که مدت‌ها به دنبال آن بودند، در داده‌های ثبت شده توسط رادیومتر ماهواره پیدا شدند. مشاهدات بعدی توسط ابزارهای زمینی و بالونی و در نهایت توسط کاوشگر ناهمسانگردی مایکروویو نشان دادند که این ناهمسانگردها کاملن دقیق هستند، یعنی آن‌گونه که بر اساس نظریه تورم انتظار می‌رفت."^{۱۸}

۲. جستجو در ساختار سیاه‌چاله‌ها:

سیاه‌چاله به ناحیه‌ای از فضا مان گفته می‌شود که از ماده‌ی بشدت بهم‌فشرده تشکیل شده و نیروی گرانشی آن چنان بالاست، یعنی انحنا‌ی فضا زمان آن چنان شدید است، که امکان گریز هیچ چیز حتی نور را هم نمی‌دهد. مرز بیرونی این ناحیه، افق رویداد (event horizon) نامیده می‌شود، مرزی غیرقابل نفوذ از داخل سیاه‌چاله به بیرون. گرچه این ناحیه سیاه و لذا برایمان نامرئیست، اما کنش و واکنش گرانشی آن با ماده‌ی پیرامون خود خبر از وجود سیاه‌چاله در ناحیه‌ی مربوطه را می‌دهد.^{۱۳}

در پایان ذکر این نکته ضروریست که ما هیچ اطلاعاتی از آنچه بر سر اطلاعات نهفته در ساختارهایی که به درون سیاه‌چاله سقوط می‌کنند می‌آید نداریم. پژوهش در این‌باره می‌تواند به شناخت از کیهان‌شناسی کوانتومی نیز یاری رساند.

1. <https://de.wikipedia.org/wiki/Quantenkosmologie>
2. Albert Einstein, Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, in: Das relativitäts- prinzip, Teubner Verlag, 8. Auflage, Stuttgart 1982
3. Hassan Bolouri. Big Bang
۳. حسن بلوری، 'مهبانگ و پیدایش کیهان'، این مقاله اولین بار در تاریخ ۱۳۹۲، ۱۲، ۰۱ به صورت سخنرانی ارائه شده است.
4. Hassan Bolouri, The natural constants and epistemology
۴. حسن بلوری، 'ثابت‌های طبیعی و شناخت‌شناسی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه فوریه سال ۲۰۲۱
5. Hassan Bolouri, classical cosmology
۵. حسن بلوری، 'کیهان‌شناسی کلاسیک'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳
6. Hassan Bolouri, Quantum Gravity
۶. حسن بلوری، 'گرانش کوانتومی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه می سال ۲۰۲۳
7. Carlo Rovelli, Francesca Vidotto, Covariant Loop Quantum Gravity, Combridge University Press, 5th printing 2019
8. Hassan Bolouri, Quantum and Epistemology
۸. حسن بلوری، کوانتوم و معرفت‌شناسی، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۹
9. M. P. Bronstein, 'Quantentheorie schwacher Gravitationsfelder' in: Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion 9, 1936, S. 140-157
10. Hassan Bolouri, Superfluid Spacetime
۱۰. حسن بلوری، 'فضازمان ابرسیال'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۱
11. Zeeya Merali: Theoretical physics, The origins of space and time, Nature August 2013
12. Hassan Bolouri: Why is there something rather than nothing
۱۲. حسن بلوری، 'چرا به جای هیچ، چیزی وجود دارد؟! ماده و پادماده'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه آوریل سال ۲۰۲۰
13. Hassan Bolouri, White hole, Wormhole, Black hole
۱۳. حسن بلوری، 'مفهوم ماده در تراکم‌های بسیار بالا: سفیدچاله، کرم‌چاله، سیاهچاله'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۰
14. John A. Wheeler, Kenneth W. Ford: Geons, black holes, and quantum foam – a life in physics, Norton, New York, London, 1998
15. Werner Heisenberg: Die physiklischen Prinzipien der Quantentheorie, Bibliographisches Institut Mannheim, S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1958
16. <https://www.chemie.de/lexikon/Planck-Einheiten.ht>
17. Hassan Bolouri, The day without yesterday, graininess of the space and time, string theory
۱۷. حسن بلوری، 'روز بدون دیروز، دانه دانه بودن فضا و زمان، نظریه ریسمان‌ها'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۱
18. Steven Weinberg, Cosmology, Oxford University Press, Published in the United States, N. Y 2008