

کیهان کوانتومی

منشاء هستی



Quantum Cosmos: The Origin of the Universe

تصویر ۱: فضا در کیهان کوانتومی تشکیل شده از "اتم‌های فضا" تصور می‌شود.^۱

کیهان‌شناسی کوانتومی سعی در توصیف منشاء هستی و پروسه‌های اولیه کیهان با یاری نظریه کوانتوم در شکل کیهان کوانتومی دارد. و کیهان کوانتومی به نوبه خود امکان توصیف منشاء و چستی ماده، فضا و زمان را می‌دهد.

فشرده

توصیف کیهان بدون شناخت کافی از منشاء هستی، مه‌بانگ^۲، و مراحل آغازین آن نمی‌تواند رضایت‌بخش باشد. آنچه در حال حاضر در اینباره گفته و نوشته می‌شود بیشتر در حد حدس و گمان است و مبنای تجربی ندارد. یعنی، نمی‌توان با اطمینان از منشاء و مراحل اولیه کیهان و چگونگی شکل‌گیری آن سخن گفت. اینکه آیا اصولن امکان شناخت منشاء ماده، فضا و زمان وجود دارد یا خیر، پرسشی است که در نظریه کیهان کوانتومی به آن پرداخته می‌شود.

بحث در باره‌ی شناخت از ماده، فضا و زمان در کیهان کوانتومی نشان می‌دهد که انسان در مقایسه با زمان‌های نه چندان دور تا چه اندازه در شناخت خود از کیهان پیش رفته است. علم فیزیک اکنون از چنان جایگاهی برخوردار است که به سختی می‌توان باور کرد که دانشمندان بزرگی در گذشته با چه موانعی و رنج‌هایی مواجه بودند. نمونه‌ی بارز آن سرگذشت غم‌انگیز گالیلئو گالیله ریاضیدان، فیزیکدان و اخترشناس بزرگ ایتالیایی (۱۶۴۲-۱۵۶۴) در قرن هفدهم است.^۳

در این مقاله می‌کوشم. کیهان کوانتومی را در راستا و بستر نظریه کوانتوم^۴ و کیهان‌شناسی کوانتومی^۵ توضیح دهم.

یادآوری:

۱. در مقاله‌ی 'مه‌بانگ و پیدایش کیهان'^۲، تاریخچه‌ی کیهان، مفهوم مه‌بانگ، مه‌بانگ کجا بود و پیش از آن چه بود را توضیح دادیم.
۲. در مقاله‌ی 'کیهان‌شناسی کلاسیک'^۳، هندسه‌سازی فیزیک، گرانش کلاسیک و کیهان‌شناسی کلاسیک را مورد بررسی قرار دادیم.
۳. در مقاله‌ی 'خلاء و ساختار آن'^۴ خلاء کلاسیک، خلاء کوانتومی، ساختار خلاء کوانتومی و ۴ نیروی پایه‌ای فیزیک را شرح دادیم.
۴. در مقاله‌ی 'گرانش کوانتومی'^۵، مفهوم کوانتوم و نظریه کوانتوم، فضا-زمان یانگ - میلز و گرانش کوانتومی را توضیح دادیم.
۵. در مقاله‌ی 'کیهان‌شناسی کوانتومی'^۶، کیهان را به‌عنوان یک سیستم فیزیکی خواهان توضیح علت انفجار بزرگ بررسی کردیم.

در پایان مقاله‌ی 'قوانین طبیعی و انبساط کیهان'،^۴ آمده است: "ما اکنون در علم کیهان‌شناسی صحبت از کیهان کوانتومی^۵ می‌کنیم." "کیهان‌شناسی کوانتومی"^۶ و کیهان کوانتومی می‌خواهند نظریه‌هایی توسعه یافته‌تر از نظریه نسبیت عام، کیهان‌شناسی کلاسیک^۳ و نظریه کوانتومی موجود باشند. بی‌شک وقتی پای نظریه کوانتوم به بحث کیهان و قوانین آن باز می‌شود، صورت مسئله از حالت به اصطلاح کلاسیک خارج شده، طرح و بیان کوانتومی آن به امری ضروری بدل می‌شود. وضعیتی که در آن با مسئله‌ی کیهان‌های موازی مواجه می‌شویم که هر یک می‌توانند قوانین طبیعی ویژه‌ی خود را دارا باشند. برای مثال ممکن است توزیع عناصر شیمیایی در آنها به نوعی باشد که امکان شکل‌گیری حیات به شکلی که ما می‌شناسیم وجود نداشته باشد.^۴

شناخت از منشاء و شرایط اولیه‌ی کیهان به‌معنای شناخت از نیروی اولیه‌ایست که به احتمال نیروهای معروف به نیروهای پایه‌ای فیزیک از آن جدا (منشعب) شده‌اند: نیروهایی با نام‌های نیروی قوی، نیروی ضعیف، نیروی الکترومغناطیس و نیروی گرانشی. سه نیروی اول از این چهار نیرو در نظریه کوانتوم توصیف می‌شوند. به این معنا که این سه نیرو نیروهایی هستند کوانتیزه شده. اما نیروی گرانشی، بمراتب ضعیف‌تر از سه نیروی دیگر، تاکنون و با گذشت حدود یک قرن تلاش هنوز کوانتیزه نشده است. یعنی، به نیروی کوانتیزه شده‌ای که نام گرانش کوانتومی^۷ دست نیافته‌ایم. به‌نظر با وحدت این نیروهاست که می‌توان به نیروی اولیه و با آن به شناخت منشاء و شرایط اولیه‌ی کیهان دست‌یافت. احتمالان نیروی‌های اساسی چهارگانه از یک نیروی واحد اولیه در آغاز کیهان در پس "تلنگری" به آنچه خلاء کوانتومی^۸ می‌گوئیم مشتق و یکی بعد از دیگری در مراحل مختلف توسعه‌ی کیهان در صحنه ظاهر شده‌اند.

اکنون نزدیک به یک قرن است که فیزیکدان‌ها در تلاشند تا وحدت نیروهای نامبرده را در نظریه‌ای واحد نشان دهند بی‌آنکه موفقیت چندانی نصیب‌شان شده باشد. در واقع از پاسخ به این مسئله‌ی بزرگ علم فیزیک انتظار آن داریم که ما را با نیروی اولیه، ویژگی‌های و عملکردهای احتمالی آن آشنا نماید. به نظر آنچه در حال حاضر سد راه ما در شناخت از منشاء و شرایط اولیه‌ی کیهان می‌باشد مسئله‌ی کوانتیزه کردن نیروی گرانش است.

کیهان کوانتومی

دنیای میکروسکوپی از قوانینی متفاوت از قوانین دنیای کلاسیک پیروی می‌کند.^۹ برای مثال در فیزیک کلاسیک، طبق قوانین الکترودینامیک، الکترون‌های یک اتم می‌باید در حین چرخش دورانی خود دور هسته‌ی اتم به دلیل برخورداری از بار الکتریکی، پرتوزایی (الکترومغناطیسی) کنند. و در نتیجه با گذشت زمان انرژی خود را از دست داده، به هسته‌ی اتم سقوط کنند. به این ترتیب می‌بایستی ساختار اتم‌ها فروریخته و وجود خارجی نداشته باشند. آیا چنین است؟ اگر واقع چنین بود ما نمی‌بایستی شاهد حضور اتم‌ها و ساختارهای گوناگون متشکل از آنها بودیم. به عبارت دیگر، وجود ساختارهای بیشتر در گیتی بیان از آن دارد که قوانین فیزیک کلاسیک نمی‌تواند حرف آخر باشد. نظریه‌ای که توان توضیح ثبات اتم‌ها، چرایی سقوط نکردن الکترون‌ها به هسته‌ی اتم‌ها، را دارد، نظریه الکترودینامیک کوانتوم نامیده می‌شود. مثال ذکر شده البته تنها موردی نیست که قوانین کلاسیک ناتوان از توضیح‌شان هستند. کم نیستند پدیده‌ها و پروسه‌هایی که در حیطه‌ی فیزیک کلاسیک قابل استدلال نیستند. این نوع مسائل در بخش‌های مختلف نظریه کوانتوم بررسی و مستدل می‌شوند.

نظریه کوانتوم زیربنای نظریه کلاسیک و قوانین آن را تشکیل می‌دهد. این گفته در سطح کیهان‌شناسی نیز صادق است. شواهد تجربی نشان می‌دهند که کل قوانین طبیعی با نظریه کوانتوم قابل توصیف است. البته ناگفته نماند که نظریه کوانتوم حاضر نارسائی‌هایی دارد که شاید ریشه در نحوه‌ی ارائه‌ی آن در بستر هندسه یا فضا-زمان^۴ بعدی مینکوسکی^۴ و نه در هندسه‌ی ۴ بعدی شبه ریمانی دارد. همین مطلب است که احتمالاً نه تنها در نظریه کوانتوم بلکه در کاربرد آن در بخش‌های مختلف علمی از جمله در کسمولوژی، به‌ویژه در موضوع وحدت نیروهای پایه‌ای فیزیک، مشکل ایجاد کرده است.

طبق نظریه کلاسیک (نظریه نسبیت عام) کیهان در گذشته‌های دور کوچکتر و زمانی چنان کوچک و فشرده بوده که فقط شکل یک "نقطه" به اصطلاح تکینگی را داشته است. البته ما می‌دانیم که تکینگی به‌عنوان یک نقطه از نظر فیزیکی بی‌معناست. در نتیجه نظریه نسبیت عام اینشتین نمی‌تواند نظریه‌ای کامل باشد. به‌ویژه به این خاطر که توضیحی برای مسئله‌ی انفجار بزرگ ندارد. بعکس، نظریه نسبیت عام برای این مقطع پاسخ‌های بی‌معنا مانند فشار بی‌نهایت، چگالی بی‌نهایت و دمای بی‌نهایت را دارد که در علم فیزیک محلی از اعراب ندارند. در مقابل نظریه کوانتوم فارغ از مسئله‌ی تکینگی در تلاش برای توصیف "آغاز" و دوران اولیه‌ی کیهان و شکل‌گیری ماده، فضا و زمان است.^{۱۰، ۱۱}

در فاز "آغازین" کیهان، یعنی در مقیاس پلانک، نمی‌توان از فضا زمان به معنایی که در فیزیک حاضر مطرح است صحبت کرد.^{۱۲} یعنی، ما در اینجا با وضعیتی مواجه هستیم که در آن فضا زمان به معنای متعارف آن وجود ندارد. علم فیزیک کنونی نه توان توصیف فاز "آغازین" (زمان پلانک حدود 10^{-43} ثانیه)، نه مراحل اولیه پس از آن و پیش از آن را دارد و نه می‌تواند برای مقیاس‌های کوچکتر از مقیاس پلانک اظهار نظر کند. با این حال شکی نیست که برای شناخت فراگیر (جامع) از کیهان نیاز به اطلاع کافی از منشاء و شرایط اولیه‌ی آن داریم. ناگفته نماند که کثیری از فیزیکدان‌ها اصولاً بحث در باره‌ی فیزیک مادون مقیاس پلانک را غیر واقع‌بینانه دانسته و آن را از اساس رد می‌کنند. به این دلیل که فیزیک نظری اثری کوچکتر از مقیاس پلانک نمی‌شناسد و اگر هم وجود داشته باشد امکان اندازه‌گیری آن را نداریم.

یکی از مسائل مهم پایه‌ای در علم فیزیک به‌ویژه در کیهان‌شناسی کوانتومی، مسئله‌ی انفورماسیون و چپستی انفورماسیون است. برای مثال این مسئله مطرح است که آیا اطلاعاتی که در یک سیستم فیزیکی نهفته است و از اصل بقا هم پی‌روی می‌کند، مانند تکانه زاویه‌ای (angular momentum) جسمی در سقوط به یک سیامچاله نابود می‌شود و از بین می‌رود و یا نوعی به اصل بقا وفادار مانده و به "حیات" خود ادامه می‌دهد؟ در مقالاتی در آینده تلاش خواهیم کرد به این موضوع بسیار مهم و اساسی، یعنی مسئله‌ی انفورماسیون در فیزیک، بپردازیم.

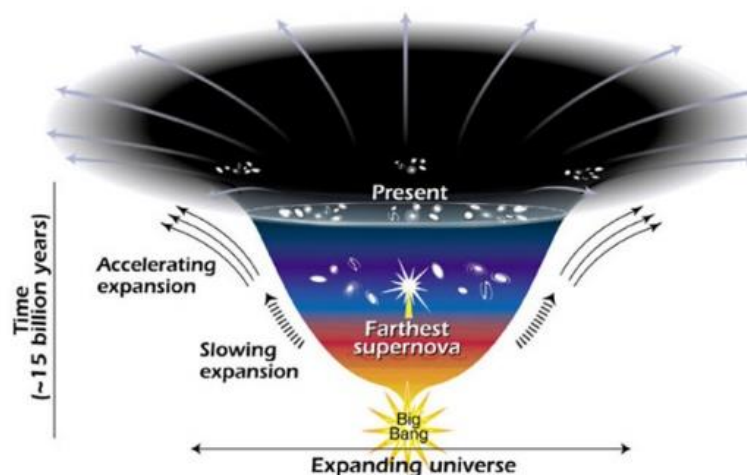
روشن است، نظریه‌ای که بر پایه‌ی واقعیت‌ها، داده‌های عینی و تجربه بنا نشده باشد نمی‌تواند مورد استناد قرار گیرد. نظریه بیگ بنگ یکی از این موارد است. با این حال آنچه ما را به باور به نظریه انفجار بزرگ و با آن به کیهان کوانتومی متمایل می‌کند شواهدی هستند مانند: ۱. انبساط کیهان، ۲. نواسانات دما در پرتوافشانی (تشنشعات) تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی، به‌ویژه در محدوده‌ی مایکروویو و ۳. فراوانی نسبی عناصر سبک در کیهان. در زیر کوتاه به تک تک این سه مطلب مهم می‌پردازیم.

۱. در باره‌ی انبساط کیهان:

در باره‌ی انبساط کیهان (تصویر ۲) در کتاب 'فضا، زمان، ماده و مرزهای ادراک حسی'^{۱۱} پرداخته‌ام. از این‌رو در اینجا تنها به بیان نکاتی چند از کتاب مزبور^{۱۲} اکتفا می‌کنیم:

"طبق اصل کیهان‌شناسی، بعد از 'زمان پلانک' عصر تورم آغاز می‌گردد. کیهان در این عصر با سرعتی بسیار بالا، در طول زمان 10^{-32} تا 10^{-30} ثانیه با ضربی برابر با 10^{30} الی 10^{50} انبساط می‌یابد. این مقدارها نشان می‌دهند که سرعت انبساط کیهان در عصر تورم مافوق سرعت نور بوده است! توجه داریم که در اینجا بحث سرعت انبساط خود کیهان است. البته سرعت مافوق سرعت نور برای انبساط کیهان در تضاد با نظریه‌ی نسبیت که حداکثر سرعت را سرعت نور در کیهان می‌داند، قرار نمی‌گیرد. به این دلیل که نظریه‌ی نسبیت، سرعت نور در فضا زمان را مدنظر دارد در حالی که ما در اینجا سرعت انبساط خود فضا زمان (کیهان) را در نظر داریم

اندازه‌ی بخش قابل رؤیت کنونی کیهان در عصر تورم کوچکتر از قطر یک ذره‌ی پروتون بود و در طول تورم تا نزدیک به 10^2 سانتیمتر انبساط می‌یابد. جزئیات این دوران و علت پایان یافتن آن (هنوز) روشن نیست. فرضیه‌ی تورم قادر است



تصویر ۲: کیهان در حال انبساط^{۱۲}

مشاهدات عینی زیرا را توضیح دهد:

۱. همگنی کیهان؛ ۲. انحنای کیهان؛ ۳. تک قطبی بودن مغناطیسم؛ ۴. ساختارهای عظیم در کیهان و ۵. طیف نوسانات دمای تابش پس‌زمینه کیهانی.

دوران پس از تورم، عصر انبساط نامیده می‌شود. عصر انبساط با نظریه‌ها و قوانین فیزیک موجود قابل توضیح است. اغلب مدل‌های ارائه شده برای مهبانگ در توضیح عصر انبساط با یکدیگر همخوانی دارند. ما می‌توانیم عصر انبساط را به اختصار چنین بیان کنیم:

۱. در پایان عصر تورم، یعنی حدود 10^{-32} ثانیه پس از مهبانگ، دمای کیهان تا 10^{25} K نزول می‌کند. در این زمان ذراتی به نام کوارک‌ها و پادکوارک‌ها بوجود می‌آیند که پلاسمائی را با ذرات موجود از جمله گلوئون‌ها تشکیل می‌دهند.

۲. دمای کیهان پس از یک میلیونم ثانیه به 10^{12} K سقوط می‌کند و ذرات هادرونی، یعنی پروتون‌ها و نوترون‌ها که اجزاء تشکیل دهنده هسته اتم‌ها هستند، و همچنین پادذرات آن‌ها از پلاسمای موجود بوجود می‌آیند.

۳. پس از 10^{-4} ثانیه دمای کیهان به 10^{11} K می‌رسد. در این دما دیگر امکان شکل‌گیری هادرون‌های جدید وجود ندارد. هم‌زمان اما اغلب پروتون‌ها و نوترون‌ها بر اثر تصادم با پادذرات خود به انرژی تبدیل شده و چیزی کمتر از یک میلیاردم از پروتون‌ها و نوترون‌ها باقی می‌مانند. به این دلیل است که کیهان عمدتاً از ماده تشکیل شده و نسبت به پادماده نامتقارن است. علت این نامتقارنی روشن نیست. قابل توجه اینکه در این دوران مقدار زیادی هم ذرات نوترینو تولید می‌شود.

۴. یک ثانیه پس از مهبانگ، دمای کیهان به 10^{10} K نزول می‌کند. در این دوران است که ذرات الکترون و پادالکترون، یعنی پوزیترون، باهم تصادم کرده به انرژی تبدیل می‌شوند. از این ذرات نیز تنها حدود یک میلیاردم الکترون‌ها باقی می‌مانند. به عبارت دیگر، ذراتی که ما اکنون در کیهان ملاحظه می‌کنیم همان ذراتی هستند که در یک ثانیه‌ی اول بعد از مهبانگ نیز وجود داشتند.

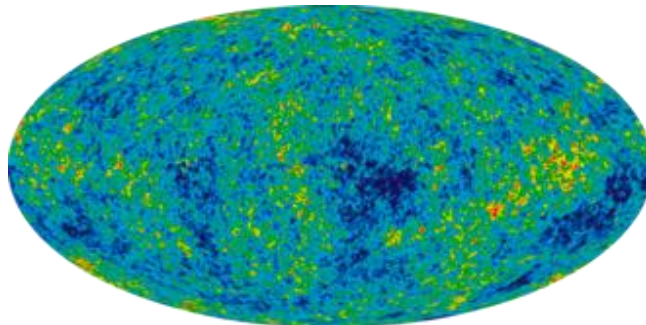
۵. با رسیدن دمای کیهان به زیر یک میلیاردم کلون، یعنی 10^9 ثانیه بعد از مهبانگ، امکان ترکیب پروتون‌ها با نوترون‌ها به اولین هسته‌های هیدروژنی، یعنی دترن‌ها که اغلب به هسته‌های هلیوم-۴ تبدیل می‌شوند، بوجود می‌آید.

۶. بعد از گذشت حدود ۳ دقیقه از مهبانگ، دما و چگالی کیهان به درجه‌ای نزول می‌کنند که دیگر امکان ترکیب هسته‌ای وجود ندارد و نوترون‌های باقیمانده در دقایق بعدی به پروتون و الکترون‌ها فروافت می‌کنند.

۷. شتاب انبساط کیهان، انبساط رو به افزایش کیهان، می‌تواند در رابطه با انرژی تاریک (۴) باشد. قبول این ادعا اما نیازمند شواهد عینی است. برای نمایش اهمیت انرژی تاریک و ماده‌ی تاریک کافی است به سهم این دو از کل انرژی و ماده‌ی کیهان اشاره کنیم. سهم انرژی تاریک با حدود ۷۳ درصد به مراتب بیشتر از سهم ماده‌ی تاریک، حدود ۲۳ درصد و سهم این دو با هم از کل انرژی و ماده‌ی کیهان بیش از ۹۵ درصد است. به عبارت دیگر، سهم ماده با حدود ۴/۵ درصد و سهم نوترینو با ۰/۳ درصد ناچیز است. سهم ماده‌ی قابل رؤیت کیهان، یعنی ستارگان، فقط حدود ۰/۵ درصد می‌باشد.^{۱۱}

۲. در باره‌ی تابش پس‌زمینه کیهانی:

از بررسی‌های ساختار تابش پس‌زمینه کیهانی (تصویر ۳) می‌توان زوایایی از سرگذشت و شکل‌گیری کیهان را استنتاج کرد. نوسانات دما در تابش پس‌زمینه، فسیلی از دورانی که کیهان بسیار جوان بود، شواهدی از ویژگی‌های دوران آغازین کیهان را در اختیار ما قرار می‌دهد.



تصویر ۳: تابش زمینه کیهانی؛ نوسانات دما در تشعشعات پس‌زمینه، ثبت شده توسط فضاییمای دبلیومپ WMAP (مأموریت ۲۰۰۱-۲۰۱۰)^{۱۲}

بی‌تردید پژوهش‌های بیشتر بر روی تابش زمینه‌ی کیهانی می‌تواند جوانی از مراحل اولیه‌ی کیهان را روشن کرده همراه با یافته‌های دیگر فرضیه کوانتومی کیهان را به مقام نظریه علمی ارتقاء دهد. علاوه بر این انتظار آن می‌رود که بشود در پرتو پس‌زمینه کیهانی شواهدی را هم برای حضور میدان (نیروی) گرانش کوانتومی در دوران آغازین کیهان بدست آورد. شواهدی که امکان به وحدت رساندن نیروهای پایه‌ای ذکر شده در بالا را مهیا کند.^۹

تابش زمینه‌ی کیهانی کهن‌ترین ابژکت شناخته شده از کیهان است. این امواج مایکروویوی حدود $3/8$ میلیارد سال پیش بوجود آمده‌اند. پرتویست تقریباً همسانگرد^{۱۰} که کل کیهان را پُر می‌کند: بطور متوسط با 400 فوتون پس‌زمینه‌ای در یک سانتیمتر مکعب خلاء، با دمای حدود $2/73$ کلوین (حدود منهای 270 درجه‌ی سانتیگراد، یعنی کمی بیشتر از دمای صفر مطلق یا دمای صفر کلوین مساوی با $273/15$ - درجه‌ی سانتیگراد).

تابش پس‌زمینه کیهانی در سال‌های $1964-5$ توسط آرنولد آلان پنسلیاز فیزیکدان آلمانی - آمریکایی (1933^*) و رابرت وودرو ویلسون فیزیکدان آمریکایی (1936^*) کشف شد، این کشف در تاریخ کیهان‌شناسی بسیار با اهمیت ارزیابی می‌شود و بیان از انبساط کیهان دارد.^{۱۱ و ۱۲}

۳. در باره‌ی عناصر سبک کیهانی:

حدود سیصد و هشتاد هزار سال پس از انفجار بزرگ دمای کیهان متأثر از انبساط آن به حدود 3000 کلوین می‌رسد. در این مقطع شکل‌گیری عناصر سبک، هیدروژن و هلیوم، از ذرات کوانتومی پرتون و الکترون موجود میسر می‌شود. رایج‌ترین عنصر در کیهان اتم هیدروژن (با یک پروتون و یک الکترون) است که حدود 75 درصد جرم ماده و 93 درصد اتم‌های کیهان را تشکیل می‌دهد.^{۱۳} با شکل‌گیری این عناصر، بویژه عنصر سبک هیدروژن، راه برای حرکت آزاد ذرات فوتون (ذرات نور، امواج الکترومغناطیسی) که بیشتر مدام در کنش و واکنش با پروتون‌ها و الکترون‌ها بودند میسر می‌گردد. با امکان انتشار آزاد نور (رهایی از "دام" پروتون‌ها و الکترون‌ها)، کیهان "شفاف" می‌شود. تابش پس‌زمینه کیهانی کشف شده در سال‌های $1964-5$ ، همان فوتون‌های آزاد شده‌ی آن دوران هستند که در طول زمان و در ارتباط با انبساط کیهان طول موج آنها کنش پیدا کرده (انتقال به سرخ) و اکنون در شکل امواج مایکروویو قابل اندازه‌گیری هستند، فسیل‌هایی از نزدیک به $3/8$ میلیارد سال پیش، یعنی، نزدیک به آغاز کیهان و کل عمر آن.

ثابت پلانک h

در مقاله‌ی 'کیهان‌شناسی کوانتومی'،^{۱۴} گفتیم: "پیوند ماده و فضا-زمان را آلبرت اینشتین در نظریه نسبیت عام نشان داده است. در مقابل پیوندی مشابه آن در نظریه کوانتوم که مورد تایید جامعه فیزیکدان‌ها باشد تاکنون ارائه نشده است. هر چند 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 به‌منظر این دومی شانس موفقیت بیشتری را دارد^{۱۵}، هیچیک نتوانسته‌اند آن طور که لازم است فضا-زمان کوانتومی (فضا-زمان پلانک) را توصیف دهند."^{۱۶}

دلیل نبود توصیف کافی برای فضا-زمان پلانک، صرف‌نظر از اینکه آیا اصولن اثری در مقیاس کوچکتر از اثر پلانک (ثابت پلانک Planck constant) در طبیعت وجود دارد یا خیر، همان است که پیشتر گفتیم: فیزیک نظری اثری کوچکتر از مقیاس پلانک نمی‌شناسد و اگر هم وجود داشته باشد امکان اندازه‌گیری آن را نداریم. اثر پلانک به‌عنوان یک ثابت طبیعی^{۱۷} دیده می‌شود که در کنش و واکنش‌های بنیادی نقش بسیار تعیین‌کننده دارد. برای مثال، انرژی E یک فوتون با یاری اثر پلانک محاسبه می‌شود و برابر است با ثابت پلانک h ضرب در بسامد f (فرکانس) فوتون، یعنی $E = hf$. مقدار اثر (ثابت) پلانک h برابر است با $6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$. (J ژول، واحد انرژی و s ثانیه، واحد زمان).

حال پس از این توضیحات می‌پرسیم: اثر قابل سنجش گرانش کوانتومی که لازمه‌ی طرح و بحث در باره‌ی کیهان کوانتومی است در چه مقیاسی می‌تواند باشد؟ شاید بشود به این پرسش چنین پاسخ داد: زمانی که انحنای "فضا-زمان" کوانتومی ایجاد شده توسط یک ابژکت کوانتومی مانند پروتون قابل اندازه‌گیری باشد. در صورت صحت چنین پاسخی، بزرگترین چالش، اندازه‌گیری مقدار بی‌نهایت ناچیز آن است که عمل ناممکن به‌منظر می‌آید.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

گفتیم که کیهان‌شناسی کوانتومی سعی در روشن کردن منشاء کیهان و پروسه‌های اولیه‌ی آن با یاری نظریه کوانتوم در

شکل کیهان کوانتومی دارد. این تلاش تاکنون از یک طرف احتمالان به علت کوانتیزه نبودن نیروی گرانش و در نتیجه امکان نبود ایجاد وحدت میان نیروهای پایه‌ای در علم فیزیک و از طرف دیگر به علت نارسائی‌هایی در نظریه کوانتوم موجود، عملی نگشته است. شاید یکی دیگر از دلایل آن، نظریه کوانتوم کنونی در بستر فضازمان مینکوسکی^۲ و یاری‌جویی تنها از نظریه نسبیت خاص، یعنی با پس‌زمینه هندسه‌ی شبه اقلیدسی^۳، باشد و نه در بستر شبه ریمانی^۴ نظریه نسبیت عام که نیروی گرانشی را نیز در بر می‌گیرد. امکان دارد که این کاستی‌ها به نوعی هم در رابطه با دو مفهوم بسیار مهم و اساسی باشند: مفهوم همدوسی (کوهرنس Coherence) و مفهوم ناهمدوسی (دکوهرنس Decoherence). در مقاله‌ی^{۱۷} تحت عنوان 'مفهوم همدوسی و ناهمدوسی' در باره‌ی این دو مفهوم می‌خوانیم:

"شناخت از این دو مفهوم برای دانش فلسفه و علوم پایه حیاتی است، به‌ویژه مفهوم ناهمدوسی که تا چند دهه پیش ناشناخته شده بود. مفهوم ناهمدوسی را طبیعت دنیای میکروسکوپی به ما دیکته می‌کند. ناهمدوسی جالب‌ترین پرسش فیزیک مدرن و موضوع مهم پژوهش روز است. ... کوهرنس یک کلمه لاتین به معنای با یکدیگر در رابطه بودن، به یکدیگر مربوط بودن، باهم ارتباط داشتن است که در زبان فارسی همدوسی نامیده شده است. ... این مفهوم هم در دنیای کلاسیک و هم در دنیای کوانتومی کاربرد دارد ولیکن مفهوم ناهمدوسی مختص دنیای کوانتومی است. ... همدوسی (در علوم پایه) ویژگی خاص امواج و پیش‌فرض شکل‌گیری حالت تداخلی (interference) در آن‌هاست. ... در دنیایی که همدوسی ناب حاکم است، یعنی در دنیای کوانتومی، تمامی کنش و واکنش‌ها بازگشت‌پذیر هستند. یعنی، در اینجا نوعی بی‌زمانی حاکم است. اما اینکه دنیای ما چنان نیست و ویژگی‌های دنیای کلاسیک را دارد و ما گذشت زمان را حس می‌کنیم، نتیجه‌ی عملکرد اجتناب‌ناپذیر ناهمدوسی است. ... نبود امکان گریز از کنش و واکنش‌ها با محیط، دقیقن همان چیز است که آن را دکوهرنس (ناهمدوسی) می‌نامیم؛ به معنای تأثیر محیط بر سیستم (کوانتومی) و بعکس. لازم است بدانیم که کنش و واکنش‌های سیستم‌های کوانتومی با محیط را نمی‌توان هرگز و به هیچ‌وجه حذف نمود!"^{۱۷}

در واقع نظریه کوانتوم می‌گوید در اینجا نمی‌توان به عنوان مثال یک ذره را مجزا از محیط آن دانست، یعنی آن را در یک حالت ناب خالص مشاهده کرد. به بیان دیگر، ذره همواره در هم‌تنیده با محیط خود می‌باشد.^{۱۷} و^{۱۸} محیط ذره با محیط خود و باز همین محیط با محیط خود و ... مرتبط است.

تصور تام این در هم‌تنیدگی، در نهایت به در هم‌تنیدگی ذره با کل ذرات عالم می‌انجامد. و این به معنای آنست که ما تنها با علم به کل کیهان به عنوان یک سیستم واحد و عاری از محیط می‌توانیم به ویژگی‌های کامل یک ذره دست یابیم.^{۱۹} آیا ما امکان چنین شناختی را داریم؟ بی‌شک خیر! بنابراین آن چه بدست می‌آوریم نمی‌تواند بیش از یک شناخت تقریبی باشند.

صرف‌نظر از درستی و نادرستی ایده‌ی به اصطلاح جهان‌های (درست‌تر: کیهان‌های) موازی که امکان راست‌آزمایی آن را نداریم و اگر هم داشتیم باز جوهر پرسش ما:

آیا اصولن امکان شناخت منشأ هستی در شکل کیهانی واحد و کوانتومی البته اینبار کیهانی به گستردگی جهان‌های موازی همچنان پابرجا خواهد بود.

از توضیحات ارائه شده چه پاسخی را می‌توان به پرسش امکان شناخت منشأ هستی با بهره‌جویی از تمامی توان علم فیزیک حاضر استنتاج کرد؟

در حال حاضر و به دلایل بیان شده نه امکان شناخت منشأ کیهان و نه پروسه‌های اولیه‌ی آن وجود دارد و نه کیهان کوانتومی در جایگاهی است که بتواند به پرسش ذکر شده پاسخ قطعی دهد. شاید پژوهش‌ها در راستای وحدت نیروهای پایه‌ای فیزیک و توسعه‌ی نظریه کوانتوم، کیهان‌شناسی کوانتومی و همچنین کیهان کوانتومی بتوانند در آینده با کسب شواهد عینی امکان پاسخ به پرسش‌های بی‌پاسخ ماده را مهیا نمایند. اما آنچه اکنون بر اساس نظریه کیهان‌شناسی کوانتومی متکی بر نظریه کوانتوم موجود با هدف دستیابی به کیهان کوانتومی می‌توان بیان داشت، اینست که شناخت از منشأ هستی بدون شناخت از خلاء کوانتومی^۸ در سطح انرژی‌های بسیار بالا ناممکن است.

البته غیرمحمتم نیست که توضیحات ارائه شده تنها زوایائی از هستی را در بر می‌گیرد. به این معنا که برای مثال خواص دو بُعدی ذره الکترون متفاوت از خواص سه بُعدی آن است. یک چنین وضعیتی می‌تواند در برداشت ما از کیهان و خلاء نیز صادق باشد. علاوه بر این امکان دارد که ما اصولن نتوانیم به‌خاطر ساختار بیولوژیکی خود، با دید سه بُعدی از فضا و مجزا از بُعد زمان و احتمالان محدودیت‌های دیگر شناخت از منشأ 'کیهانی در ابعاد بالاتر' را نداشته باشیم. به‌ویژه وقتیکه می‌دانیم با کیهانی در هم‌تنیده در شکل کیهان کوانتومی مواجه هستیم.

1. https://www.mpg.de/7513652/quantengravitation_urknall_
2. Hassan Bolouri, Big Bang
۲. حسن بلوری، 'مهبانگ و پیدایش کیهان'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳
3. Hassan Bolouri, Classical cosmology
۳. حسن بلوری. 'کیهان‌شناسی کلاسیک'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳
4. Hassan Bolouri, Nature laws and expansion of the universe
۴. حسن بلوری، 'قوانین طبیعی و انبساط کیهان'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۲۲
5. Claus Kiefer, Der Quantenkosmos, S. Fischer Verl, Frankfurt/Main, 2. Aufl., 2009. S. 220
6. Hassan Bolouri, Quantum cosmology
۶. حسن بلوری، 'کیهان‌شناسی کوانتومی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژوئن سال ۲۰۲۳
7. Hassan Bolouri, Quantum gravity
۷. حسن بلوری، 'گرانش کوانتومی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۳
8. Hassan Bolouri, Vacuum and its structure – a discussion about “Nothing”
۸. حسن بلوری. 'خلاء کوانتومی و ساختار آن'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان ماه آوریل سال ۲۰۲۳
9. Hassan Bolouri, Symmetry: the key to recognizing the cosmos
۹. حسن بلوری، 'تقارن: کلید شناخت کیهان'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۰
10. C. Rovelli, Die Wirklichkeit, die nicht so ist, wie sie scheint, Rowohlt Verlag, Reinbeck bei Hamburg, 3. Auflage
11. C. Rovelli, F. Vidotto, Covariant Loop Quantum Gravity, Cambridge Univ. Press, 5th printing 2019
12. Hassan Bolouri, eight essays about space, time, matter, ...
۱۲. حسن بلوری، هشت جستار در باره فضا، زمان، ماده و مرزهای ادراک حسی، نشر هزاره‌ی سوم، زنگان، ۱۳۹۷
13. <https://esahubble.org/images/opo0109g>
14. <https://de.wikipedia.org/wiki/Hintergrundstrahlung>
15. Hassan Bolouri, The Concept of Space
۱۵. حسن بلوری، 'مفهوم فضا'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه جولای سال ۲۰۲۰
16. Hassan Bolouri, The natural constants and epistemology
۱۶. حسن بلوری، 'ثابت‌های طبیعی و شناخت‌شناسی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه فوریه سال ۲۰۲۱
17. Hassan Bolouri, The Concept of Coherence and Decoherence
۱۷. حسن بلوری، 'مفهوم هم‌دوسی و ناهم‌دوسی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه دسامبر سال ۲۰۲۰
18. Hassan Bolouri, The concept of measurement in QT
۱۸. حسن بلوری، 'مفهوم اندازه‌گیری در نظریه کوانتوم'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژانویه سال ۲۰۲۱
19. <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/quantengravitation/11859>