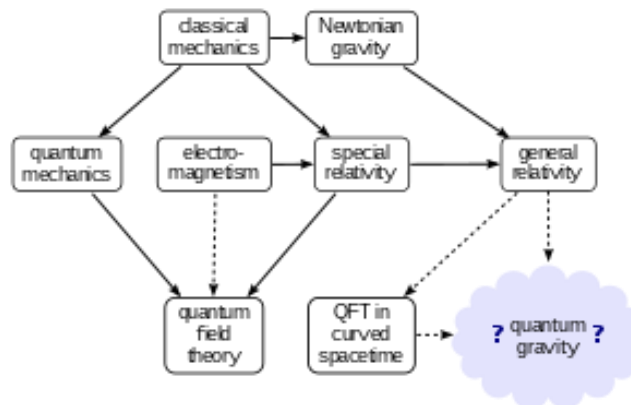


گرانش کوانتومی



Quantum gravity

تصویر ۱: نمودار، جایگاه گرانش کوانتومی را در سلسله مراتب نظریه‌های فیزیک نشان می‌دهد.^۱

فشرده

گرانش کلاسیک را در مقاله‌ی 'کیهان‌شناسی کلاسیک'^۲ توضیح دادیم. در آنجا گفتیم که چهار نیروی بنیادی فیزیک بسیار متفاوت از یکدیگر هستند، برای مثال در قدرت و دامنه‌ی تاثیرگذاریشان. با این حال همه‌ی این نیروها بر اساس یک مفهوم هندسی، همسان می‌باشند. به این معنا که همکنش (تعامل) بین دو ذره توسط یک 'میدان واسطه' یا 'میدان پیمانه'‌ای صورت می‌گیرد.^۳ و همچنین اضافه کردیم که در قرن بیستم موفق به شناخت مراحل سه‌گانه‌ی هندسه‌سازی فیزیک در فضا زمان ۴ بعدی شدیم که عبارتند از: ۱. فضا زمان شبه اقلیدسی مینکوفسکی^۲ (۱۹۰۸)، ۲. فضا زمان شبه ریمانی اینشتین^۴ (۱۹۱۵) و ۳. فضا زمان میکروسکوپی یانگ - میلز^۵ (از سال‌های ۱۹۵۴). دو حالت اول را که به فیزیک کلاسیک مربوط می‌شود در مقاله‌ی^۲ توضیح دادیم. حالت سوم از آن دنیای کوانتوم است که در مقاله‌ی پیش‌رو در رابطه با گرانش کوانتومی توضیح می‌دهیم.

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که درک و فهم مهبانگ^۶ (بیگ بنگ) و آنچه در سیاهچاله‌ها^۷ رخ می‌دهد نیازمند نظریه‌ایست بنیادی‌تر از نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتوم. نظریه‌ای که توان برطرف نمودن ناسازگاری‌های دو نظریه‌ی نسبیت و کوانتوم را که در طول‌های کوچک غیرقابل تصور (در ابعاد پلانک مانند طول پلانک 10^{-33} سانتی‌متر) ظاهر می‌شوند داشته باشد.^۸ به احتمال نظریه‌ای که چنین توانی را دارد، نظریه گرانش کوانتومی می‌باشد. اما مشکل بزرگ و اساسی در بنای آن اینست که طبیعت در این مورد اطلاعات بسیار کمی را از خود بروز می‌دهد. صرف‌نظر از اینکه ما در اینجا با چنان ابعاد کوچکی سروکار داریم که بررسی آنها نیازمند ابزارهای بسیار پرتوانی است که در اختیار نداریم. یعنی، امکان بررسی و مشاهده‌ی مستقیم پدیده‌های گرانش کوانتومی در آزمایشگاه وجود ندارد. با این حال فیزیکدان‌ها امیدوارند بتوانند برای مثال در پرتو پس‌زمینه کیهانی^۹،^{۱۰} یعنی به‌شکل غیرمستقیم شواهدی را برای گرانش کوانتومی پیدا کنند.

در این مقاله می‌کوشم پس از پیشگفتار و توضیح مفهوم کوانتوم و نظریه کوانتوم به شرح هندسه‌سازی فیزیک در فضا زمان میکروسکوپی یانگ - میلز^۲ بپردازم و در ادامه نظریه گرانش کوانتومی را تا سطح دانش موجود (تنها نظری) بیان دارم.

یادآوری:

۱. در مقاله‌ی 'مهبانگ و پیدایش کیهان'^۶، مفهوم مهبانگ، تاریخچه‌ی مهبانگ و کیهان، مهبانگ کجا بود و ... را توضیح دادیم.
۲. در مقاله‌ی 'کیهان‌شناسی کلاسیک'^۲، هندسه‌سازی فیزیک، گرانش کلاسیک و کیهان‌شناسی کلاسیک را شرح دادیم.

در پایان مقاله‌ی 'قوانین طبیعی و انبساط کیهان'،^۹ آمده است: "ما اکنون در علم کیهان‌شناسی صحبت از کیهان کوانتومی^۶ می‌کنیم. کیهان‌شناسی کوانتومی ترکیبی از نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتوم است. وقتی پای نظریه کوانتوم به بحث کیهان و قوانین آن باز می‌شود صورت مسئله از حالت به اصطلاح کلاسیک خارج و شکل بغرنج‌تر ولیکن در عین حال پُررنگ‌تر با امکانات به‌مراتب بیشتر را به خود می‌گیرد. قوانین کیهان کوانتومی کیهان‌های (به اصطلاح جهان‌های موازی) زیادی را ممکن می‌انگارد. هر یک از آنها می‌تواند قوانین طبیعی ویژه‌ی خود را داشته باشد. برای مثال ممکن است توزیع عناصر شیمیایی در آنها به نوع دیگری باشد و امکان شکل‌گیری حیات به‌شکلی که ما می‌شناسیم وجود نداشته باشد."^۹

بی‌شک بحث در باره‌ی کیهان کوانتومی نشان می‌دهد که انسان در مقایسه با چند صدهی گذشته تا چه اندازه در شناخت از جهان پیرامون خود پیشرفت کرده است. علم اکنون از چنان جایگاهی برخوردار است که به سختی می‌توان باور کرد که دانشمندان بزرگی در گذشته‌ای نه چندان دور با چه موانعی و رنج‌هایی مواجه بودند. نمونه بارز آن سرگذشت غم‌انگیز گالیلئو گالیله ریاضیدان، فیزیکدان و اخترشناس ایتالیایی (۱۶۴۲-۱۵۶۴) و معتقد به اینکه کتاب طبیعت به زبان ریاضی نوشته است می‌باشد.^۲

لازم است گفته شود که مدل‌های نظری ارائه شده برای توضیح انفجار بزرگ، مه‌بانگ و یا بیگ بنگ^۷ هیچ‌یک تاکنون به اثبات نرسیده‌اند. این مسئله از جمله ریشه در کامل نبودن نظریه نسبیت عام اینشتین دارد که اغلب مبنای این مدل‌ها می‌باشد. نظریه نسبیت عام که انرژی‌تکانه را با فضا‌زمان پیوند می‌دهد و از یک میلیونیم ثانیه پس از مه‌بانگ به این سو بخوبی عمل می‌کند برای لحظات قبل از آن نه تنها کارکرد درستی ندارد بلکه کاملن غیرفیزیکی می‌شود و به پاسخ‌های غیرقابل قبول مانند دمای بی‌نهایت و یا چگالی بی‌نهایت در نقطه‌ی به اصطلاح تکینگی^۴ می‌رسد. به عبارت دیگر، نظریه نسبیت عام تنها در محدوده‌ی یک میلیونیم ثانیه اول و 'ماقبل' آن^{۱۱} و^{۱۲} عملکرد درستی ندارد. در این محدوده، فیزیک کلاسیک به‌طور عام و نظریه نسبیت عام اینشتین به‌طور خاص ناکارآمد و فاقد اعتبار می‌شوند. این محدوده از آن فیزیک کوانتوم و خواهان بررسی با اصول، قوانین و روش‌های نظریه کوانتوم است.

عمده‌ی مدل یا طرح‌های ارائه شده برای محدوده‌ی مزبور عبارتند از نظریه ریسمان‌ها و نظریه گرانش کوانتومی. در حال حاضر چنان به‌نظر می‌رسد که نظریه گرانش کوانتومی، به‌ویژه حالت خاصی از آن به نام نظریه گرانش کوانتومی حلقه (Loop Quantum Gravity)، بیشترین شانس موفقیت را دارد. در مقابل، در نظریه ریسمان‌ها با ۱۱ بُعد (!) می‌باید از میان ۱۰^{۵۰۰} حالت (!!) آن حالت یا امکان را جستجو و انتخاب کرد که می‌تواند احتمالان درست باشد. بی‌تردید انجام یک چنین پروسه‌ای به‌خاطر دامنه‌ی وسیع حالت‌های ممکن عملن غیرقابل اجرا می‌باشد. در این‌باره در مقاله‌ی 'روز بدون دیروز'^{۱۲} می‌خوانیم:

"ابژکت‌های بنیادین نظریه ریسمان‌ها، مدل ریسمان‌های باز و بسته (ارتعاشات فضا‌زمان) می‌باشند. ... نظریه ریسمان‌ها می‌خواهد توضیحی برای ذرات بنیادی و نیروهای بنیادی میان آنها باشد. ... تمامی تلاش‌ها برای اثبات بُعدهای اضافی در نظریه ریسمان‌ها تاکنون به نتیجه نرسیده است. ... البته این گفته به‌معنای آن نیست که نظریه ریسمان‌ها می‌باید نادرست باشد. ... نظریه ریسمان‌ها مورد تایید همه‌ی فیزیکدان‌ها نیست. به این نظریه نقد‌های زیاد و تند شده است. ... برای مثال Robert Laubhlin برنده‌ی جایزه‌ی نوبل معتقد است که نظریه ریسمان‌ها نتیجه‌ی غم‌انگیز یک سیستم باور قدیمی است."^{۱۳}

ابژکت‌های بنیادی که در مقاله‌ی پیش رو مدنظر هستند نه از نوع مدل ریسمان‌ها بلکه از نوع مدل ذرات به اصطلاح "نقطه‌ای" می‌باشند که در نظریه کوانتوم، در مدل استاندارد ذرات کوانتومی، مطرح هستند.

کوانتوم و نظریه کوانتوم

کوانتوم: واژه‌ی کوانتوم quantum برگرفته از عبارت لاتین quantus به‌معنای چه مقدار است. کوچکترین واحد گسسته از هر کمیت فیزیکی کوانتوم نامیده می‌شود. کوانت quant در علم فیزیک به ابژکتی گفته می‌شود که از تغییر حالت یک کمیت فیزیکی در سیستمی با اندازه‌های گسسته (spectrum discrete) بدست می‌آید. کوانت‌ها (کوانتا) ذرات کوانتومی کمیت‌های فیزیکی هستند با اندازه‌های معین (کوچکترین اندازه). برای مثال: فوتون (ذره نور) به‌عنوان کوانت میدان الکترومغناطیسی؛ گلوئون به‌عنوان کوانت میدان هسته‌ای اتم (میدان میان پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته‌ی اتم‌ها) و گراویتون به‌عنوان کوانت (فرضی) میدان گرانشی. یک کمیت کوانتیده همواره مضرب صحیحی از کوانت آن کمیت است. برای مثال، اندازه‌ی بار الکتریکی یک جسم برابر است با مضرب صحیحی از بار الکتریکی یک الکترون (یکانه بار الکتریکی).^{۱۴}

نظریه کوانتوم: نظریه‌ایست مربوط به فیزیک اتم‌ها و مادون اتم‌ها: مکانیک کوانتومی، الکترودینامیک کوانتومی، اپتیک کوانتومی (لیزر)، نظریه کوانتومی میدان‌ها، گرانش کوانتومی، کیهان کوانتومی و فیزیک کوانتومی می‌کوشد با نظریه‌ها، مدل‌ها و طرح‌های کوانتومی و با قوانینی که سرشت احتمالی دارند اشکال مختلف ساختارها و عملکردها در دنیای میکروسکوپی را بررسی کند. با آگاهی از این زیرساختارها است که می‌توان دنیای ماکروسکوپی را ریشه‌ای‌تر، مستدل به فیزیک استاتیستیکی (احتمالی - آماری)، تشریح نمود.^{۱۴}

فضازمان میکروسکوپی یانگ - میلز

در مقاله‌ی 'کیهان‌شناسی کلاسیک'،^۲ رابطه‌ی بین هندسه و فیزیک و همچنین هندسه‌سازی فیزیک در عصر جدید و عصر حاضر را توضیح دادیم. حال لازم است در این مقاله کوتاه به بستر لازم و مناسب برای توصیف گرانش کوانتومی بپردازیم.

چن نینگ یانگ (Chen-Ning Yang) فیزیکدان چینی - آمریکایی (۱۹۲۲*) و رابرت میلز (Robert Mills) فیزیکدان آمریکایی (۱۹۲۷-۱۹۹۹) در سال ۱۹۵۴ نظریه‌ای را برای توصیف تعامل نیروهای کوانتومی ارائه دادند. این نظریه غیرآبلی است، یعنی خاصیت جابه‌جایی (Commutative مانند $a + b = b + a$) ندارد. با این حال نظریه یانگ - میلز، نظریه الکترودینامیک کوانتوم را به‌عنوان موردی خاص از خاصیت جابه‌جایی شامل می‌شود.^۵

نظریه‌ی فضازمان (گرانش) یانگ - میلز نظریه‌ای است سازگار با آزمایشات که نیروی گرانش را به‌عرصه‌ی نظریه میدان‌های پیمانه‌ای و فیزیک کوانتوم در فضازمان مسطح (افلیدیسی) باز می‌گرداند. این نظریه راه‌حلی را برای موضوع ناسازگاری بین نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتوم ارائه می‌دهد.^۵

"معادلات یانگ - میلز که رفتار دینامیکی میدان‌های پیمانه‌ای نیروی قوی را تعیین می‌کنند؛ معادلاتی هستند دیفرانسیالی غیرخطی در فضازمان ۴ بعدی M. این معادلات را می‌توان به‌عنوان معادلات تعمیم یافته‌ی معادلات مکسول برای بررسی پدیده‌های الکترومغناطیسی تصور کرد. ... توپولوژی، شاخه‌ای از ریاضیات برای بررسی کیفی و ویژگی‌های ساختارهای هندسی است. ... نظریه دونالدسون (Sir Simon Kirwan Donaldson، ریاضیدان انگلیسی، متولد ۱۹۵۷) دو بخش معادلات یانگ - میلز و توپولوژی را که ظاهر و کاملن مجزا از هم به‌نظر می‌رسند به هم مرتبط می‌کند. تلاش برای یافتن تمامی جواب‌های یک نوع خاص (instanton) از معادلات یانگ - میلز، منجر به بینش عمیق تازه‌ای در زمینه توپولوژی مانیفولد‌های ۴ بعدی M گردید. به‌طرزی که می‌توان از ساختار فضای M در باره‌ی ساختار M نتیجه‌گیری کرد."^{۱۳}

در ابتدای مقاله گفتیم که بنیاد علم کیهان‌شناسی حاضر را نظریه نسبیت عام اینشتین که یک نظریه کلاسیک است تشکیل می‌دهد. و اضافه کردیم که این نظریه هیچ اظهار نظری در باره‌ی حالت پیش از انفجار، علت انفجار و مراحل اولیه پس از آن نمی‌کند و نمی‌تواند بکند. اما بررسی‌های نظری نشان می‌دهند که مفهوم فضا و زمان می‌باید از یک نوع کاملن متفاوت از آنچه تاکنون در فیزیک مطرح است باشد.

"فضا را می‌توان در کوچکترین مقیاس‌ها که تاکنون در آزمایشگاه یا شتاب‌دهنده‌ی ذرات قابل کاوش هستند (10^{-15} cm) به‌شکل کاملن مسطح تصور کرد. اما به‌نظر می‌رسد که فضا در مقیاس‌های بسیار کوچکتر، مانند آنچه برای حالت اولیه‌ی انفجار بزرگ مطرح است (10^{-33} cm) و به‌دلیل اثرات کوانتومی در نوسان (fluctute, fluktuieren) می‌باشد تصور کرد (تصویر ۱). یکی از پیامدهای قابل توجه این ایده، در نوسان بودن ساختار فضا و زمان در مقیاس‌های بسیار کوچک (10^{-33} cm)، اینست که اندازه‌گیری فضا و زمان تابع اصل عدم قطعیت می‌شود. یعنی، در واقع کمیت‌های هندسی برای توصیف فضا و زمان دارای خصلت کوانتومی هستند. و این الهام‌بخش جهت جدیدی در تحقیقات ریاضی، هندسه‌ی غیرآبلی (Commutative)، است. در اینجا تمرکز اساسن بر ماهیت فیزیکی کمیت‌های هندسی می‌باشد. هندسه‌های غیرآبلی، دارای تقارن‌های جدید هستند که می‌توانند کمک کنند تا وضعیت متناقض (پادوکس) انفجار بزرگ را درک نمود."^{۱۵}

در این‌باره در مقاله‌ی 'فضازمان آبرسیال'،^{۱۶} می‌خوانیم:

"در علم فیزیک گاز یا مایعی که اصطکاک داخلی آن ناچیز است روان (سیال) و چنانچه (تقریباً) برابر با صفر باشد ابرروان (ابرسیال) نامیده می‌شود. شاخه‌ی علمی که به بررسی این حالت از ماده می‌پردازد هیدرودینامیک کوانتومی نام دارد.

در مدل فضازمان آبرسیال، فضازمان شکل‌گرفته از اثرات ذرات کوانتومی آن تصور می‌شود که در کوچکترین سطح، به واحدهای منفرد (ناپیوسته) در مقیاس پلانک (حدود 10^{-35} متر) تقسیم شده است. این حالت را که می‌تواند ناشی از شکل‌گیری ماده و پادماده از خلاء کوانتومی^{۱۷} باشد جان ویلر، فیزیکدان نظری آمریکایی (۲۰۰۸ - ۱۹۱۱) کف

کوانتومی (quantum foam) می‌نامد.^{۱۹} در کف کوانتومی که بعضی به آن کف فضا زمان 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. در نتیجه وضعیتی مشابه آنچه کف کوانتومی نامیده می‌شود بوجود می‌آید.^{۱۴}

گرایش کوانتومی

نظریه نسبیت عام توان توضیح آنچه در فضا زمان‌های بشدت فشرده بر اثر تراکم بسیار بالای ماده و اشعه (انرژی‌تکانه) برای مثال در سیاهچاله‌ها و یا در مقطع تکینگی و انفجار بزرگ رخ می‌دهد را ندارد. از این‌رو برای درک و توضیح این حالت‌ها از نظریه کوانتوم یاری جسته می‌شود.^{۲۰} اما در این حالت‌ها ما با مسئله‌ی "فضا زمان کوانتومی" مواجه می‌شویم که در حال حاضر اطلاع دقیقی از آن نداریم. به‌ویژه ما هیچ‌گونه امکان راست‌آزمایی مدل‌های نظری ارائه شده برای چنان حالت‌هایی را نداریم. به عبارت دیگر، اعتبار علم فیزیک حاضر درست آنجایی تمام می‌شود که "فیزیک فضا زمان کوانتومی" آغاز می‌شود. برای مثال سیاهچاله‌ها را در نظر می‌گیریم که در باره‌ی آنها در مقاله‌ی^{۱۴} می‌خوانیم:

"سیاهچاله یا حفره‌ی سیاه به ناحیه‌ای از فضا زمان گفته می‌شود که از ماده‌ی بشدت بهم‌فشرده شکل گرفته و نیروی گرانشی آن چنان بالاست، یعنی انحنای فضا زمان آن چنان شدید است، که امکان گریز هیچ چیز حتی نور از داخل آن را نمی‌دهد. مرز بیرونی این ناحیه افق رویداد (event horizon) نامیده می‌شود. افق رویداد منطقه‌ی اطراف سیاهچاله و مرز غیر قابل نفوذ از داخل حفره‌ی سیاه به بیرون است. گرچه این نواحی سیاه و نامرئی هستند اما کنش و واکنش گرانشی آن‌ها با ماده پیرامون خود خبر از موجودیت آن‌ها می‌دهد. کمیت بارز و تعیین کننده‌ی سیاهچاله‌ها چگالی بسیار بالای آن‌هاست و نه الزاماً جرم زیاد. برای مثال اگر بتوان تمام جرم زمین با شعاع ۶۴۰۰ کیلومتر را در فضائی به شعاع نزدیک ۹ میلی‌متر متراکم کرد، در این صورت زمین به یک سیاهچاله تبدیل می‌شود. به همین منوال است در مورد خورشید، یعنی اگر بتوان کل جرم خورشید با شعاع ۷۰۰۰۰۰ کیلومتر را در فضائی به شعاع نزدیک ۳ کیلومتر متراکم نمود، آن وقت خورشید به یک سیاهچاله تبدیل می‌شود."^۸

ما تاکنون هیچ اطلاع تأیید شده‌ای از آنچه در داخل سیاهچاله‌ها می‌گذرد کسب نکرده‌ایم. با این همه فیزیک کوانتوم به ما می‌گوید که در نزدیکی افق رویداد ذرات و پادذرات^{۱۸} شکل می‌گیرند. ذرات و پادذرات بوجود آمده در دو جهت مخالف، یکی به درون سیاهچاله و دیگری به بیرون از افق رویداد حرکت می‌کنند.

طبق نظریه‌ی استفن هاوکینگ، فیزیکدان انگلیسی (۱۹۴۲-۲۰۱۸)، امکان تبخیر محتوای سیاهچاله‌ها توسط اشعه، اشعه حرارتی که به آن اشعه هاوکینگ نیز گفته می‌شود، وجود دارد. در صورت تأیید این نظریه، معنای آن این خواهد بود که ۱. سیاهچاله‌ها به شکل ایده‌آل سیاه نیستند و ۲. سیاهچاله‌ها جرم خود را در طول زمان بسیار طولانی بر اثر اشعه هاوکینگ از دست می‌دهند. هرچه سیاهچاله بزرگتر باشد تبخیر آن کندتر است.

نیروی گرانش در نظریه کوانتوم به عنوان میدان کوانتومی در یک تقریب خطی توسط ذره‌ی (فرضی) به نام گراویتون (بدون جرم و با اسپین ۲) توصیف می‌شود.

دانش حاضر نشان می‌دهد که کل فیزیک از نظریه کوانتومی پیروی می‌کند. از این‌رو به نظر می‌رسد که درک اساسی طبیعت بدون یک نظریه‌ی کوانتومی نیروی گرانش (گرایش کوانتومی) امکان ندارد. به‌ویژه به این دلیل که نیروی گرانشی با سایر نیروهای پایه‌ای پیوندی ناگسستگی دارد. به عبارت دیگر، نظریه گرانش کوانتومی برای وحدت نیروهای پایه در علم فیزیک و درک طبیعت ضروریست. تاریخ کیهان تنها در صورتی به‌طور کامل قابل درک است که مسئله‌ی تکینگی در انفجار بزرگ اجتناب‌پذیر باشد.^{۲۱} در این‌باره در مقاله‌ی جداگانه تحت عنوان 'کیهان کوانتومی' توضیحاتی خواهم داد.

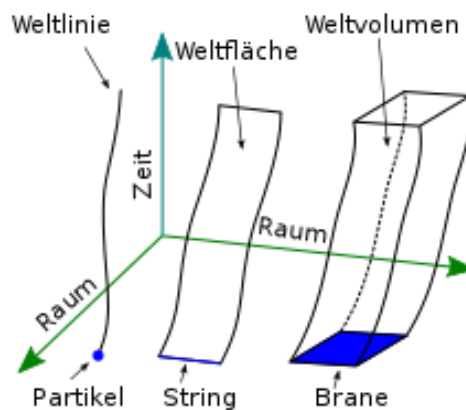
همانگونه که پیشتر گفتیم، در حال حاضر طرح یا نظریه‌های مربوط به گرانش کوانتومی به‌طور عمده به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱. **نظریه کوانتومی نسبیت عام:** این نظریه تلاش در کوانتیزه کردن نظریه نسبیت عام اینشتین دارد. "دیدگاه‌های فعلی در این زمینه شامل گرانش کوانتومی حلقه و اسپین فوم (کف کوانتومی)^{۱۹} می‌شود. در اینجا سعی بر آن است که بتوان متریک فضا زمان را با هولونوم‌ها و جریان‌ها (holonomies and flows) به عنوان متغیرهای متعارف (canonical variables) جایگزین کرد.^{۲۰} پاسخ‌های بدست آمده نشان از خطوط بسته (Loop) در فضا دارند.^{۲۰} مدلی که برای ابژکت‌های (اشیاء) بنیادین علم فیزیک در نظریه نسبیت عام ارائه می‌شود، مدل ذرات نقطه‌ای ("اتم‌های فضا") است^{۲۱} (تصویر ۲).



تصویر ۲: فضا در کیهان کوانتومی از سلول‌های یکانه کوچک یا "اتم‌های فضا" تشکیل شده است.^{۲۲}

۲. **نظریه ریسمان‌ها:** نظریه‌پردازان این تئوری با باور به وجود یک نظریه اساسی ناشناخته شده در مقیاس پلانک با درجه آزادی متفاوت از درجه آزادی نسبیت عام اینشتین و میدان‌های کوانتومی، برآند نسبیت عام اینشتین و با آن فضازمان پیوسته را یک نظریه برای انرژی‌های کم نشان دهند.^{۱۰} درجه آزادی به معنای تعداد متغیرها مانند دما، فشار و ... است. ابژکت‌های (اشیاء) بنیادین نظریه ریسمان‌ها به شکل ریسمان‌هایی باز و بسته (ارتعاشات فضازمان) تصور می‌شود (تصویر ۳). فیزیکدانان طرفدار نظریه ریسمان‌ها معتقدند این نظریه می‌تواند دوگانگی بین فیزیک نسبیت عام با فضازمان انحنادار (فضازمان شبه ریمانی اینشتین) و نظریه کوانتوم بنا شده در فضازمان مسطح (فضازمان شبه اقلیدسی مینکوسکی) را برطرف کند. نظریه ریسمان‌ها به تشریح برهمکنشی ریسمان‌ها با یکدیگر می‌پردازد که در اندازه‌های بزرگ شبیه ذرات نقطه‌ای در علم فیزیک ذرات نمایان می‌شوند.^{۱۲} در واقع نظریه ریسمان‌ها می‌خواهد توضیحی برای ذرات بنیادی و نیروهای بنیادی میان آنها باشد. اما بزرگترین کاستی (نقص) نظریه ریسمان‌ها آنست که این نظریه بدون بهره‌جویی از نوعی پس زمینه‌ی فضازمانی قابل توصیف نیست.^{۱۱}



تصویر ۳: مسیر ذره در زمان (خط کیهانی)، مسیر ریسمان باز (سطح کیهانی) و مسیر ریسمان بسته (حجم کیهانی)^{۲۳}

مراجع

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_gravity

2. Hassan Bolouri, Classical cosmology

۲. حسن بلوری، 'کیهان‌شناسی کلاسیک'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳

3. Bernhard Riemann: *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zugrunde liegen*. Abh. Kgl. Ges. Wiss., Göttingen 1868

4. Albert Einstein, Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, in: Das relativitäts- prinzip, Teubner Verlag, 8. Auflage, Stuttgart 1982
5. <https://de.wikipedia.org/wiki/Yang-Mills-Theorie>
6. Hassan Bolouri, Big Bang
 ۶. حسن بلوری، 'مهبانگ و پیدایش جهان - مهبانگ کجا بود و پیش از مهبانگ چه بود؟'، این مقاله اولین بار در تاریخ ۱۳۹۲، ۱۲، ۰۱ به صورت سخنرانی ارائه و در کتاب پژوهش‌هایی در نجوم، دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۹۷، منتشر شده است.
7. Hassan Bolouri, White hole, Wormhole, Black hole
 ۷. حسن بلوری، 'مفهوم ماده در تراکم‌های بسیار بالا: سفیدچاله، کرم‌چاله، سیاهچاله'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۰
8. https://www.mpg.de/10847063/aei_jb_2016
9. Steven Weinberg, Cosmology, Oxford University Press, New York, First Published 2008
10. Hassan Bolouri, Natural laws and expansion of the universe
 ۱۰. حسن بلوری، 'قوانین طبیعی و انبساط کیهان'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۲۲
11. Martin Bojowald, Zurück vor den Urknall, 2. Auflage, S. Fischer Verlag, Frankf /am Main, 2009
12. Hassan Bolouri, The day without yesterday, graininess of the space and time, string theory
 ۱۲. حسن بلوری، 'روز بدون دیروز، دانه دانه بودن فضا و زمان، نظریه ریسمان‌ها'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۱
13. <https://de.wikipedia.org/wiki/Stringtheorie>
14. Hassan Bolouri: Quantum and Philosophy
 ۱۴. حسن بلوری، 'کوانتوم و فلسفه'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۱۹
15. <http://www.physik.uni-leipzig.de/~salmhofer/poster-rudverch.pdf>
16. Hassan Bolouri, Superfluid Spacetime
 ۱۶. حسن بلوری. 'فضازمان آبرسیال'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۱
17. Hassan Bolouri: Quantum and Epistemology
 ۱۷. حسن بلوری، کوانتوم و معرفت‌شناسی، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۹
18. Hassan Bolouri: Why is there something rather than nothing
 ۱۸. حسن بلوری، 'چرا به جای هیچ، چیزی وجود دارد؟؛ ماده و پادماده'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه آوریل سال ۲۰۲۰
19. John A. Wheeler, Kenneth W. Ford: Geons, black holes, and quantum foam – a life in physics, Norton, New York, London, 1998
20. Carlo Rovelli, Die Wirklichkeit, die nicht so ist, wie sie scheint, Rowohlt Verlag, Reinbeck bei Hamburg, 3. Auflage, 2017, S 170-171, 196-197, 177
21. <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/quantengravitation/11859>
22. https://www.mpg.de/7513652/quantengravitation_urknall
23. <https://de.wikipedia.org/wiki/Stringtheorie>