

چرا جرم، گرانش ایجاد می‌کند؟



Why Does Mass Create Gravity?¹

جرم، هندسه فضا-زمان را و هندسه فضا-زمان، نوع حرکت جرم را تعیین می‌کند. این هم‌کنش‌ها در نقاط مختلف کیهان قابل مشاهده و سنجش‌اند. اینشتین، چگونگی این پدیده‌ها را در نظریه نسبیت عام شرح داده است. اما، این نظریه نمی‌تواند «چرایی» بنیادین ایجاد گرانش توسط جرم را توضیح دهد.

فشرده

آیزاک نیوتن: تمام اجسام به دلیل جرمشان نیروی جاذبه بر یکدیگر وارد می‌کنند. این نیرو، در امتداد خطی که کانون‌های جرم دو جسم را به هم متصل می‌کند، عمل می‌نماید. نیوتن، این نظریه را بر پایه‌ی کاربرد همگانی نیروی جاذبه در پدیده‌های زمینی بنیاد نهاد و آن را به نجوم، حرکات سیاره‌ها، توسعه داد. اما، این نظریه حتی برای خود نیوتن رضایت‌بخش نبود. چراکه او پاسخی به این پرسش نداشت: چگونه می‌توان، برای مثال تأثیر ماه و زمین بر یکدیگر را بدون هیچ واسطه‌ای توصیف کرد.^{۳ و ۴} عملکردی این چنینی، به اصطلاح از طریق یک "نیروی جاذبه‌ی نامرئی"، برای نیوتن غیرقابل فهم بود.

آلبرت اینشتین: گرانش برای اینشتین یک نیروی جاذبه‌ی نامرئی میان اجرام نیست، بلکه تأثیر جرم و تکانه بر هندسه‌ی فضا-زمان است. اینشتین گرانش را در نظریه نسبیت عام بر پایه اصل هم‌ارزی بنا نمود. اصل هم‌ارزی بیان از یکسان بودن شتاب و میدان گرانشی در خلاء دارد. برای مثال، در آسانسوری در حال سقوط آزاد، فرد درون آن، گرانشی احساس نمی‌کند. نظریه گرانش اینشتین، فضا-زمان را ساختاری^۴ بُعدی و انعطاف‌پذیر می‌داند که توسط جرم‌های بزرگ، مانند سیاره‌ها، ستاره‌ها، سیاه‌چاله‌ها و کهکشان‌ها تاب می‌خورد. طبق این نظریه، حتی نور پیرو انحنای فضا-زمان است. زمان در میدان‌های گرانشی قوی یا در سرعت‌های بالا، کندتر می‌گذرد تا در میدان‌های ضعیف و سرعت‌های پائین.^{۵ و ۶}

روشن است که دو نظریه ذکر شده، مسئله‌ی گرانش را تنها از چشم‌انداز ماکروسکوپی توصیف کرده‌اند. بی‌آن‌که کوچکترین اشاره‌ای به هم‌کنش‌ها در سطح میکروسکوپی کنند و یا به «چرایی» بنیادین ایجاد گرانش توسط جرم بپردازند. از این‌رو:

ما در این مقاله سعی داریم، پس از پیش‌گفتار، به‌دستاوردهایی در باره‌ی گرانش در سطح میکروسکوپی بپردازیم که از نیمه‌ی دوم قرن گذشته تاکنون کسب کرده‌ایم، یعنی از اولین تلاش در سال ۱۹۶۱ تا حال حاضر.

پیش‌گفتار.

اولین اظهار نظر قابل محاسبه و اندازه‌گیری در باره‌ی جاذبه (گرانش) را آیزاک نیوتن حدود ۳۰۰ سال پیش ارایه کرد. او در سال ۱۶۸۷ قانون مشهور جاذبه را در کتاب "اصول ریاضی فلسفه طبیعی"^۷ فرمولبندی نمود. این قانون می‌گوید: هر جسم، جسم دیگری را جذب می‌کند، یعنی با آن وارد کش و واکنش (تعامل) می‌شود. نیروی میان دو جسم، متناسب است با حاصل ضرب جرم‌های آن‌ها و معکوس با مجذور فاصله‌ی بین آنها. اندازه‌ی ضریب تناسب در این قانون، معروف به ضریب جاذبه یا ثابت گرانش که با حرف G نشان داده می‌شود برابر است با حدود $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg s}^2$.

نیروی جاذبه بین دو ذره پروتون در مقایسه با نیروی رانش (دافعه) الکتریکی آنها حدود 10^{36} مرتبه (!) ضعیف‌تر است. از این‌رو، به‌نظر گرانش در سطح ذرات بنیادی نقشی ندارد. در این‌صورت، چگونه می‌توان به «چرایی» بنیادین ایجاد گرانش توسط جرم پاسخ داد. به‌نظر، پاسخ به این پرسش در گرو بنای نظریه گرانش کوانتومی^{۱۳} است.

لازم به ذکر است که نیاز به نظریه گرانش کوانتومی فقط محدود به یافتن پاسخ به چرایی ایجاد گرانش توسط جرم نمی‌شود، بلکه از جمله برای توصیف مسائل دوران آغازین کیهان (زمان انفجار بزرگ) و پروسه‌های درون سیاه‌چاله‌ها نیز ضروریست. به‌ویژه، به این خاطر که فیزیک حاضر فقط تا محدوده‌ی مقیاس پلانک معتبر است.

در حال حاضر، بحث در باره‌ی نظریه‌ی گرانش کوانتومی بیشتر محدود به مدل‌های نظری، مانند نظریه‌های میدان مؤثر، معادله‌ی ویلر-دویت، و نظریه‌های جدیدتر، همچون نظریه‌ی ریسمان‌ها، نظریه‌ی گرانش کوانتومی حلقوی و مدل‌هایی مانند مدل پرنورز - دیوسی می‌شود. در زیر، در باره‌ی هر یک از این ایده‌ها توضیحات کوتاهی ارایه می‌دهیم.

نظریه‌های میدان مؤثر

نظریه‌های میدان مؤثر، به بررسی اثرات گرانش کوانتومی در انرژی‌های پایین می‌پردازد. این نظریه‌ها نشان می‌دهند که چگونه نظریه نسبیت عام در حالت مرزی از یک واقعیت کوانتومی (شرویدینگر) پدید می‌آید. برای توصیف این نوع نظریه‌های شبه کلاسیک از یک مدل ساده برای کیهان، به اصطلاح 'مدل ریز آبرضا (Minisuperspace Model)' با ویژگی‌های زیر که در مقاله^۸ تحت عنوان 'مسئله زمان در آغاز کیهان' شرح داده شده است، به‌رمی‌جوییم:

- فضای مدل مورد نظر به‌شکل یک کره‌ی سه‌بعدی در نظر گرفته می‌شود. اندازه‌ی این کره امکان تغییر در زمان را دارد.

- فضای مدل، پُر شده از یک ماده همگن تصور می‌شود.

- مدل مربوطه از تقارن بالا، مانند همگنی و همسانگردی، برخوردار است.

یک چنان مدل ساده‌ای از کیهان با تعداد کمی متغیر، قابل توصیف است. با ویژگی‌های ذکر شده، تعداد متغیرهای مدل مزبور محدود می‌شود به یک متغیر، یعنی زمان. به این ترتیب، امکان بنای نظریه‌ی گرانش کوانتومی با بهره‌گیری از یک رویکرد کلاسیکی - کوانتومی، یعنی به‌شکل شبه کلاسیک که شامل دو بخش، جرم و گرانش، می‌شود وجود دارد. به عبارت دیگر، از این طریق است که نظریه‌ی نسبیت عام با نظریه‌ی کوانتومی شرویدینگر به هم پیوند داده می‌شوند. خروجی یک چنین پیوندی، معادله‌ایست معروف به 'معادله‌ی ویلر-دویت' یا 'تابع موج کیهان'. در زیر به توضیحاتی در باره‌ی این معادله بنیادین می‌پردازیم.

معادله ویلر-دویت

معادله‌ی ویلر-دویت (Wheeler-DeWitt equation) یکی از بنیادی‌ترین و در عین حال چالش‌برانگیزترین معادلات در فیزیک نظری و کیهان‌شناسی کوانتومی است. این معادله فرم و معیار معادله‌ی استاندارد شرویدینگر را ندارد. معادله‌ی شرویدینگر با استفاده از تابع موج، رفتار و تحول زمانی ذرات ریز، مانند الکترون‌ها، را توصیف می‌کند. اما، تفسیر معادله‌ی ویلر-دویت چندان روشن نیست.

با توجه به این مهم که معادله‌ی شرویدینگر، بعکس معادلات نظریه‌ی نسبیت عام در چارچوب مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی بنا شده است، طبیعی است که معادله‌ی ویلر-دویت، به‌عنوان یک معادله‌ی مختلط از آن دو، هم‌ردا (کووارینانس) نباشد، یعنی دارای شکل یکسان در همه‌ی سیستم‌های مختصات نباشد.

در واقع، معادله‌ی ویلر-دویت، کیهان را در مدل ذکر شده سیستمی ایستا توصیف می‌کند. موضوعی که به "مسئله زمان" در نظریه گرانش کوانتومی معروف است. به این معنا که 'زمان' به‌شکلی که تصور می‌شود، وجود ندارد. از آنجاکه در معادله‌ی ویلر-دویت زمان حضور ندارد، طبیعی است که تابع موج کیهان در حالت سکون باشد. این حالت، برای مدل کیهان توصیف شده به معنای ایستا بودن آن است. یعنی، کیهان مزبور نه به‌عنوان فرایندی در حال حرکت در طول زمان،

بلکه به عنوان مجموعه‌ای از حالت‌های کوانتومی بدون زمان تعریف می‌شود. در این صورت ممکن است که برداشت ما از 'زمان' چیزی تقریبی بیش نباشد.

به‌طور شهودی می‌توان گفت، امکان دارد که گرانش کوانتومی تنها کمی پس از انفجار بزرگ و برای زمان محدودی وجود داشته است. به این دلیل که پس از آن دوره کوتاه، کیهان به‌خوبی با روش فیزیک کلاسیک قابل توصیف است. **یادآوری:** در مقاله^۷ تحت عنوان 'مسئله زمان در آغاز کیهان' گفتیم:

"جالب است بدانیم، در سال ۱۹۶۷ برایس دویت (Bryce DeWitt)، فیزیکدان آمریکایی (۱۹۲۳-۲۰۰۴) برای نخستین بار در تلاش برای وحدت نظریه‌ی نسبیت عام و نظریه‌ی کوانتومی معادله‌ای را تحت نام 'معادله‌ی اینشتین - شرودینگر' منتشر کرد که بعدها به 'معادله‌ی ویلر - دیویت' تغییر نام یافت.^۸

نظریه‌های جدیدتر

وقتی از مدل‌های ساده با درجات آزادی محدود فراتر می‌رویم، یعنی نظریه‌های جدیدتر و پیچیده‌تر گرانش کوانتومی را بررسی می‌کنیم، با چالش‌ها و پرسش‌های بیشتر و بنیادی‌تری مواجه می‌شویم.

در زیر به مدل و نظریه‌های جدیدتری که در حال حاضر بیشتر مطرح هستند می‌پردازیم. این مدل و نظریه‌ها عبارتند از: مدل دیوسی - پنروز (Diósi-Penrose model)، نظریه ریسمان‌ها، نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای و نظریه تناظر 'ای دی اس / سی اف تی' (AdS / CFT correspondence).

پیش از پرداختن به مدل و نظریه‌های نام‌برده، لازم است به حدومرز جرم لازم برای شکستن برهم‌نهی کوانتومی اشاره کنیم. برای تعیین این محدوده، از جرم‌های، برای مثال نانوذرات، استفاده می‌شود. حدومرز جرم لازم حدود ۱۰ تا ۱۰۰ پیکوگرم تخمین زده می‌شود. اجسام کوچک‌تر از این حد، مانند الکترون‌ها و اتم‌ها، برهم‌نهی را حفظ می‌کنند. اجسام بزرگ‌تر از این حد در کسری از ثانیه توسط گرانش خودشان به حالت کلاسیک فرومی‌ریزند. در حال حاضر کوشش بر این است، ذراتی در حد میلیاردها اتم (نزدیک به جرم پلانک) در حالت برهم‌نهی قرارگیرند تا روشن شود که آیا بدون تداخل محیطی، برهم‌نهی آن‌ها به‌خودی‌خود می‌شکند یا خیر. اگر چنین باشد شاهد جهش بزرگی در فیزیک خواهیم بود.

تعیین دقیق مرز میان دنیای کوانتومی و دنیای کلاسیک، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های فیزیک بنیادی است. استفاده از گرانش برای شکستن برهم‌نهی کوانتومی و تعیین حدومرز، هسته اصلی نظریه‌ها و مدل‌های جدید در فیزیک معاصر است.

مدل دیوسی - پنروز

این مدل، گرانش را عامل اصلی فروپاشی تابع موج و انتقال دنیای کوانتومی به دنیای کلاسیک می‌داند. در واقع، مدل یا نظریه دیوسی - پنروز پیشنهادی در فیزیک بنیادی است که تلاش می‌کند اثر گرانشی بر برهم‌نهی کوانتومی و فروپاشی تابع موج را نشان دهد. یعنی، روشن نماید که فروپاشی تابع موج یک فرایند فیزیکی است که توسط گرانش ایجاد می‌شود. این مدل در سال ۱۹۸۴ از جانب لایوش دیوسی، فیزیکدان مجارستانی، زاده ۱۹۵۰ و مستقل از او در سال ۱۹۸۹ از جانب راجر پنروز، ریاضی‌دان و فیزیکدان انگلیسی، زاده ۱۹۳۱ پیشنهاد شد.

نظریه ریسمان‌ها

نظریه ریسمان‌ها، با ۱۰ بُعد و بیشتر، مدلی است که کوچک‌ترین اجزاء سازنده جهان فیزیکی را به‌جای "ذرات نقطه‌ای"، در شکل رشته‌های (ریسمان‌های) بسیار ریز مرتعش، توصیف می‌کند. این نظریه مدعی رویکردی مهم برای یکپارچه‌سازی فیزیک کوانتومی و نظریه نسبیت عام است. اما، با گذشت بیش از نیم قرن به یک نتیجه تجربی قابل ذکر در فیزیک دست نیافته است. شاید، علت این امر در اختیار نداشتن انرژی‌های مورد نیاز در شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای امروزی باشد. در مقاله^۹ در این باره می‌خوانیم:

"نظریه‌پردازان ریسمان‌ها تلاش می‌کنند با استفاده از ایده‌ی ریسمان از یک طرف به وحدت نیروهای بنیادی دست یابند و از طرف دیگر، بنیاد فیزیک را بر اساس آن بنا کنند. یعنی، نظریه‌ای را ارائه دهند که بشود با آن تمامی پدیده‌های جهان فیزیکی را توضیح داد."^۹

تاریخچه نظریه ریسمان‌ها

از پایه‌گذاران نظریه ریسمان‌ها می‌توان در درجه نخست از گابریله ونتسیانو، فیزیکدان ایتالیایی زاده ۱۹۴۲، نام برد. "ونتسیانو در سال ۱۹۶۸، یعنی زمانی که در سرن مشغول پژوهش بود، شناخته شده‌ترین کار خود را ارائه نمود و به‌عنوان 'پدر' نظریه‌ی ریسمان شهرت یافت. او فرمولی برای ضریب پراگندگی تشدیدهای برهم‌کنش نیروی هسته‌ای قوی استنباط

کرد که از تابع بتای کلاسیک اوایلر بهره می‌برد و یک دوگانگی (ضریب وینتسیانو) را بیان می‌نمود. پس از آن‌که در اواسط دهه‌ی ۱۹۷۰ آشکار شد که نظریه‌ی ریسمان کوانتومی تنها در ابعاد بالاتر وجود دارد و نمی‌تواند، آن‌گونه که در ابتدا امید می‌رفت به‌عنوان نظریه‌ای برای برهم‌کنش قوی در نظر گرفته شود، علاقه وینتسیانو معطوف به کرومودینامیک کوانتومی شد.^{۱۰}

فرمول وینتسیانو را، یوایچیرو نامیو، فیزیکدان ژاپنی - آمریکایی (۲۰۱۵-۱۹۲۱)، و لئونارد ساسکیند، فیزیکدان آمریکایی زاده ۱۹۴۰، از نظر فیزیکی به‌صورت ریسمان‌های یک‌بُعدی مرتعش تفسیر کردند.

جان هنری شوارتز، فیزیکدان آمریکایی، زاده ۱۹۴۱ و آندره نئو، فیزیکدان فرانسوی، زاده ۱۹۴۶ نظریه ریسمان‌ها را توسعه دادند و فرمیون‌ها (ذرات ماده) را در آن گنجانند. این امر به کشف آبرهم‌ترازی در نظریه‌ی ریسمان انجامید.

در سال ۱۹۹۵ ادوارد ویتن، ریاضی‌دان و فیزیکدان آمریکایی، زاده ۱۹۵۱ که او نیز از پایه‌گذاران نظریه‌ی مدرن ریسمان‌ها شناخته می‌شود، موفق به یکپارچه‌سازی نسخه‌های مختلف این نظریه در قالب نظریه‌ی فراگیر M شد.

البته، باید اذعان کرد که تمام تلاش‌ها برای اثبات بُعدهای اضافی در نظریه ریسمان‌ها تاکنون به نتیجه نرسیده است! اما، این گفته به معنای آن نیست که نظریه ریسمان‌ها بیابست (لزوماً) نادرست باشد. به این خاطر که این نظریه به پدیده‌هایی از آغاز کیهان در مقیاس‌های کوانتومی، مانند طول پلانک 10^{-35} متر و زمان پلانک 10^{-44} ثانیه، می‌پردازد که اندازه‌گیری آنها بسیار دور از امکانات کنونی است. تمامی آزمایش‌ها برای نمایش دانه دانه بودن فضا و زمان که بنابر نظریه ریسمان‌ها در بُعدهای اضافی فشرده شده‌اند (نهفته‌اند) تا به امروز به نتیجه نرسیده است.^{۱۱}

نقد نظریه ریسمان‌ها

"نظریه ریسمان‌ها مورد تایید همه فیزیکدان‌ها نیست. به این نظریه نقدهای زیاد و تندی شده است. بعضی از منتقدین این نظریه را به‌خاطر ناکارآمدی آن در فیزیک زیر سؤال برده‌اند. یکی از تندترین نقدها از جانب روبرت لافاین (Robert Laughlin)، فیزیکدان آمریکایی، زاده ۱۹۵۰، برنده‌ی جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۹۸، است. او معتقد است که نظریه ریسمان‌ها نتیجه‌ی غم‌انگیز یک سیستم باور قدیمی است"^۹:

"Far from a wonderful technological hope for a greater tomorrow, string theory is the tragic consequence of an obsolete belief system."^{۱۲}

نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای

در حال حاضر یکی از کاندیداها برای یکپارچه‌سازی مکانیک کوانتومی و نسبیت عام، نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای است.^{۱۳ و ۱۴} این نظریه، فضا-زمان را ساختاری متشکل از به اصطلاح "اتم‌های فضا-زمان" در حلقه‌های کوچک غیرقابل تقسیم به نام "شبکه‌های اسپینی"^{۱۴}، با اندازه‌هایی حدود طول پلانک 10^{-35} متر و کوچکترین حجم ممکن، تصور می‌کند (تصویر ۲). یعنی، نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای فضا-زمان را نه به شکلی که در فیزیک کلاسیک پیش‌فرض شده است و خطوط و سطوح آن را پیوسته و قابل تقسیم به تعداد نامتناهی تصور می‌کند، بلکه تشکیل شده از تکه‌هایی گسسته و کوانیزه شده می‌داند.



تصویر ۲: فضا در نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای متشکل از "شبکه‌های اسپینی" تصور می‌شود.^{۱۵}

روش مطرح در این نظریه با نام 'حالت اشتکار - کوداما' شناخته می‌شود. این حالت یک تابع موج ریاضی ویژه در نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای است. ابهی واسانت اشتکار، فیزیکدان هندی، زاده ۱۹۴۹ و هیدنو کوداما، فیزیکدان ژاپنی، زاده ۱۹۵۰ گرانش را در مدلی از دهه‌ی هشتاد میلادی قرن گذشته با توپولوژی (علم بررسی خواص فضا) پیوند می‌دهند. این پیوند یک حد نیمه‌کلاسیکی را برای کیهان فراهم می‌آورد. یعنی، گرانش کوانتومی را در فضایی با یک ثابت کیهان‌شناسی مثبت^{۱۶}، مانند کیهان در حال انبساط ما یا فضای دو سیت^{۱۷}، توصیف می‌کند. مفهوم‌های کلیدی مدل اشتکار - کوداما عبارتند از: ۱. متغیرهای اشتکار، ۲. حالت کوداما، ۳. پیوند توپولوژیکی. در زیر توضیحات کوتاهی در باره‌ی هر یک از این مفهوم‌ها ارائه می‌شود.

۱. متغیرهای اشتکار: ابهی واسانت اشتکار در سال ۱۹۸۶ برای توصیف گرانش، به‌جای تانسورهای متریک که اینشتین از آن‌ها در نظریه کلاسیک نسبیت عام استفاده کرده است، از متغیرهای پیمانه‌ای بهره‌می‌جوید. این روش امکان بررسی گرانش را به‌مانند یک نظریه میدان کوانتومی 'یانگ - میلز'^{۱۸} فراهم می‌کند. یادآوری: نظریه میدان یانگ - میلز، یک چارچوب فیزیکی برای توصیف نیروهای پایه‌ای در نظریه میدان‌های کوانتومی است. در فیزیک، هر ویژگی یک سیستم را که بر اثر تبدیل تغییر نمی‌کند، ناوردا می‌نامند. ناوردایی پیمان‌ای یکی از ویژگی‌های نظریه میدان‌ها است. در این رابطه در مقاله^{۱۹} می‌خوانیم:

"نظریه‌ی فضازمان یانگ - میلز، نظریه‌یست سازگار با آزمایش‌هایی که گرانش را به‌عرصه‌ی نظریه میدان‌های پیمانه‌ای و فیزیک کوانتومی در فضازمان مسطح (افلیدسی) برمی‌گرداند. این نظریه رامحل‌هایی را برای مسئله‌ی ناسازگاری نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتومی ارائه می‌دهد."^{۲۰}

۲. حالت کوداما: هیدنو کوداما در سال ۱۹۸۸ یک تابع موج دقیق (حالت کوداما) برای کیهان کشف کرد. این حالت رامحلی برای معادلات گرانش کوانتومی با انرژی صفر برای 'معادله‌ی ویلر - دویت یا معادله‌ی موج کیهانی'^{۲۱}، در صورتی است که ثابت کیهانی مثبت باشد. در واقع، این معادله از یک رویکرد 'کلاسیک - کوانتومی'، به‌معنای در آمیختن نظریه نسبیت عام اینشتین با نظریه مکانیک کوانتومی شرودینگر بدست می‌آید.^{۲۲} به عبارت دیگر، حالت کوداما در چارچوب نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای، یک رامحل انرژی صفر برای معادله شرودینگر است.

۳. پیوند توپولوژیکی: از نظر ریاضی، حالت کوداما ارتباط نزدیکی با نظریه میدان توپولوژی چرن-سیمونز، یک نظریه میدان^{۲۳} بعدی که کنش آن به متریک فضازمان وابسته است، دارد. یعنی، در سطح کوانتومی، گرانش دارای ویژگی‌های بنیادی توپولوژیکی است. این حالت یادآور اثر هال کوانتومی در فیزیک حالت جامد است. " اثر هال کوانتومی یک پدیده‌ی فیزیکی در لایه‌های نازک دوبعدی در دمای بسیار پایین و میدان مغناطیسی قوی است. در این حالت، رسانایی الکتریکی به‌جای تغییر پیوسته، مقدارهای ثابت و پله‌ای (کوانتیده) به خود می‌گیرد."^{۲۴}

مدل‌های توسعه یافته‌تر از نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای، ذرات فرمیونی (ذرات مادی) را دربرمی‌گیرند. شاید این مدل‌ها حل مسئله‌ی تکینگی در نظریه نسبیت عام را برطرف کنند و امکان کسب اطلاع از منشاء کیهان را مهیا نمایند.

تاریخچه نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای

در بنای نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای، و 'کیهان‌شناسی کوانتومی حلقه‌ای'، سوای ابهی واسانت اشتکار (متغیرهای اشتکار) و هیدنو کوداما (حالت کوداما)، لی اسمولین فیزیکدان آمریکایی، زاده ۱۹۵۵، کارلو روولی فیزیکدان ایتالیایی، زاده ۱۹۵۶ و پرژی (جرزی) لواندوفسکی فیزیکدان لهستانی (۱۹۵۹-۲۰۲۴) سهم بودند و در دو دهه‌ی پایانی قرن گذشته یکپارچه‌سازی نظریه نسبیت عام با نظریه کوانتومی را توسعه داده‌اند.

در سال ۱۹۹۹ اشتکار و همکارانش موفق به محاسبه انتروپی یک سیاهچاله شدند که با پیش‌بینی استیفن هاوکینگ در سال ۱۹۷۴ (آنتروپی سیاهچاله‌ها و پرتو معروف به 'تابش هاوکینگ') همخوانی دارد.

نقد نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای

نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای، مانند نظریه ریسمان‌ها، با نقدها و چالش‌های بنیادی مواجه است که بیشتر عبارتند از:

۱. این نظریه بعکس نظریه ریسمان‌ها با هدف یکپارچه‌سازی ذرات و نیروها، فقط گرانش کوانتومی را مدنظر دارد.
۲. نبود امکان راستی‌آزمایی تجربی به‌خاطر اندازه‌های ناچیز در حد طول پلانک. از این‌رو، اغلب منتقدان این نظریه انکار می‌کنند که نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای ابطال‌پذیر است.
۳. نبود تقریب ساختار گسسته‌ی فضازمان کوانتومی با فضازمان پیوسته‌ی فیزیک کلاسیک.
۴. پیچیدگی نگارش ریاضی نسخه‌ای سازگار از مکانیک هامیلتونی. این مسئله تاکنون به‌طور کامل حل نشده است.

نظریه تناظر 'ای دی اس / سی اف تی'

تناظر: به معنای: وجود یک رابطه‌ی متقابل یا به یکدیگر نظر کردن (correspondence)

توضیح مفهوم‌های ای دی سی / سی اف تی: تناظر فضای پاد – دو سیتز / نظریه میدان همدیس

- 'ای دی اس' مخفف Anti-de-Sitter-Space: فضای پاد - دسیتر، فضای حجمی ویژه با انحنا منفی است که گرانش کوانتومی و نظریه ریسمان در آن تعریف می‌شوند. این فضا حداقل یک بُعد کمتر از فضای داخلی 'سی اف تی' دارد.
 - 'سی اف تی' مخفف Conformal Field Theory: یک نظریه میدان همدیس (همسان) بدون گرانش است. ویژگی این نظریه، مقارن بودنش نسبت به تغییر مقیاس است. به این معنا که قوانین آن در مقیاس‌های بزرگ و کوچک تغییری نمی‌کنند.
- نظریه تناظر 'ای دی اس / سی اف تی' (معروف به اصل هولوگرافیک و تناظر) به معنای یک هم‌ارزی ریاضی و فیزیکی است که نظریه گرانش و نظریه ریسمان‌ها را به نظریه میدان‌های کوانتومی پیوند می‌دهد. از این راه می‌توان مسائل دشوار گرانشی را به زبان ساده‌تر مکانیک کوانتومی در مرز حل کرد.

اصل هولوگرافیک:

تناظر ذکر شده، دقیق‌ترین و کامل‌ترین فرمول‌بندی ریاضی برای اصل هولوگرافیک (ذخیره اطلاعات کل حجم در مرز سطح آن) به شمار می‌رود. در این باره در مقاله^{۱۶} تحت عنوان 'آیا کیهان یک هولوگرام است؟' می‌خوانیم:

"اصل هولوگرافیک در نظریه‌های گرانش کوانتومی به انگاره‌ای گفته می‌شود که به هر توصیفی از دینامیک یک ناحیه از فضا، یک توصیف معادل در سطح محصور کننده‌ی آن ناحیه قائل است.^{۱۹} یعنی، اطلاعات در سطح محصور کننده معادل است با اطلاعات در حجم مربوطه. به این ترتیب، می‌توان کیهان را در یک بُعد کمتر توصیف کرد. محاسبات دانشگاه فنی وین (اتریش) نشان می‌دهد که چنین چیزی فقط یک ترفند محاسباتی نیست، بلکه بیان از ویژگی اساسی فضا، زمان دارد.^{۲۰} در واقع اصل هولوگرافیک در ارتباط با گرانش کوانتومی، کیهان را هولوگرامی غول‌پیکر می‌پندارد، هولوگرامی که هیچ هم‌نمایی با هولوگرام‌های اشکال^۳ بعدی در^۲ بعد، برای مثال در سطح اسکناس‌ها، ندارد."^{۱۶}

شبکه‌های اسپینی و نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای

پیش‌تر، اشاره‌ای داشتیم به مقوله‌ی 'شبکه‌های اسپینی'. این شبکه‌ها، فضای^۳ بعدی را در یک لحظه زمانی توصیف می‌کنند. شبکه‌های اسپینی از گره‌ها و خطوط (گراف‌ها) تشکیل شده‌اند و سطح‌ها و حجم‌های کوانتیده را نشان می‌دهد. در واقع، این شبکه‌ها نمای از فضای کوانتیزه شده هستند؛ نموداری ریاضی برای نمایش حالت‌ها و برهم‌کنش‌های ذرات و میدان‌ها. توالی زمانی شبکه‌های اسپینی، 'فوم اسپینی' یا 'کف کوانتومی' و یا 'فوم فضا-زمانی' نامیده می‌شوند. 'کف کوانتومی' یا 'کف فضا-زمانی' بیان از طبیعت کف‌مانند و آشفتگی هندسه‌ی فضا-زمان در اندازه‌های پلانک دارد. 'کف کوانتومی'، بیشتر بر ریشه‌های خود در مکانیک کوانتومی و خلاء کوانتومی و 'کف فضا-زمانی'، بیشتر بر تأثیر آن بر بافت خود فضا-زمان تأکید دارد.

مفهوم 'کف کوانتومی' را جان آرجیبالد ویلر، فیزیکدان آمریکایی (۱۹۱۱-۲۰۰۸) در سال ۱۹۵۵ و مفهوم 'شبکه‌های اسپینی' را راجر پنروز، ریاضی‌دان و فیزیکدان انگلیسی، زاده ۱۹۳۱، در سال ۱۹۷۱ ایجاد (ابداع) کردند.

سخن پایانی

آزمایش کلاسیک 'شکاف دوتایی با ذرات الکترون' دوگانگی موج - ذره در مکانیک کوانتومی را نشان می‌دهد. اما، هیچ اثری از رابطه با گرانش در آن مشاهده نمی‌شود. استدلالی که برای این وضع آورده می‌شود، ناچیز بودن جرم الکترون است. یعنی، گرانش بین ذرات الکترون، در مقایسه با نیروی الکترومغناطیسی میان آنها، قابل چشم‌پوشی است.

با این حال، مدل‌های نظری می‌کوشند با استفاده از جرم‌های بزرگ‌تر، برای مثال نانوذرات، مرز مکانیک کوانتومی را مشخص کنند. یعنی، روشن کنند در چه مقدار جرم، گرانش برهم‌نهی حالت‌ها را غیرممکن می‌سازد.

در پژوهش‌های حاضر این گمان مطرح است که شاید نوسانات بسیار ریز در فضا-زمان، به اصطلاح 'کف کوانتومی' یا 'کف فضا-زمان' در اندازه پلانک، به عنوان یک آشکارساز طبیعی عمل کنند. یعنی، گرانش موجب دکوهرنس خودبه‌خودی شود و ناپدید شدن الگوی تداخل را نشان دهد. (دکوهرنس، به هم‌کنشی یک سیستم کوانتومی با محیط اطراف خود گفته می‌شود).

می‌بینیم که توضیحات ارائه شده در مقاله، پاسخ به «چرایی» بنیادین ایجاد گرانش توسط جرم ارائه نمی‌دهند. اذعان می‌کنم، علم فیزیک در دهه‌های گذشته و در حال حاضر در این باره و همین‌طور در بنای نظریه گرانش کوانتومی بیشتر در حالت رکود است.

1. <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/nachrichten/2018/aufbruch-in-der-milchstrasse>
2. Hassan Bolouri, The Concept of Space
۲. حسن بلوری، 'مفهوم فضا'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۰
3. Hassan Bolouri, Classical spacetime
۳. حسن بلوری، 'فضازمان کلاسیک'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اکتبر سال ۲۰۲۵
4. Hassan Bolouri, The illusion of space and time
۴. حسن بلوری، 'توهم فضا و زمان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه نوامبر سال ۲۰۲۱
5. Hassan Bolouri, Classical cosmology
۵. حسن بلوری، 'کیهان‌شناسی کلاسیک'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳
6. Hassan Bolouri, Gravity of matter and antimatter
۶. حسن بلوری، 'گرانش ماده و پادماده'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۴
7. Isaac Newton; Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 3. Auflage, 1963
8. Hassan Bolouri, The Problem of Time at the Beginning of the Universe
۸. حسن بلوری، 'مسئله زمان در آغاز کیهان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۶
9. Hassan Bolouri, The day without yesterday, graininess of the space and time, string theory
۹. حسن بلوری، 'روز بدون دیروز - دانه دانه بودن فضا و زمان - نظریه ریسمان‌ها'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۱
10. https://de.wikipedia.org/wiki/Gabriele_Veneziano
11. <https://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Lehre/Quantentheorie/ws2006/ProblemeQuantenkosmologie.pdf>
12. <https://de.wikipedia.org/wiki/Stringtheorie>
13. Hassan Bolouri, Quantum gravity
۱۳. حسن بلوری، 'گرانش کوانتومی'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۳
14. Hassan Bolouri, Quantum Cosmos: The Origin of the Universe
۱۴. حسن بلوری، 'کیهان کوانتومی - منشاء هستی'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۳
15. https://www.mpg.de/7513652/quantengravitation_urknall
16. Hassan Bolouri, Is our universe a hologram?
۱۶. حسن بلوری، 'آیا کیهان یک هولوگرام است؟'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۲۳
17. <https://de.wikipedia.org/wiki/Yang-Mills-Theorie>
18. https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%AB%D8%B1_%DA%A9%D9%88%D8%A7%D9%86%D8%AA%D9%88%D9%85%DB%8C_%D9%87%D8%A7%D9%84
19. https://de.wikipedia.org/wiki/Holografisches_Prinzip
20. <https://www.tuwien.at/tu-wien/aktuelles/news/news/20-tu-forum-ein>