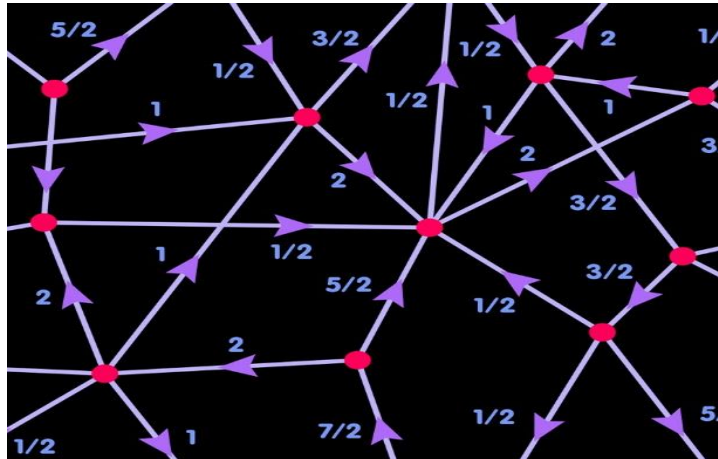


کوانتای فضا و زمان



The Quanta of Space and Time¹

فشرده

عرصه، میدان عمل یا پس‌زمینه‌ی فلسفه و فیزیک فضا‌زمان تصور شده است. تلاش چندین هزار ساله‌ی انسان برای شناخت خاستگاه و ساختار این پس‌زمینه تاکنون به نتیجه مطلوب نیاورده است^۱. با این حال هنوز این امیدواری وجود دارد که بتوان با یاری دو نظریه بزرگ قرن بیستم، یعنی نظریه نسبیت و نظریه کوانتوم، منشاء و بافتار آن را توضیح داد، چنانچه اصولاً چنان پس‌زمینه‌ای وجود داشته باشد.

در نظریه نسبیت عام، فضا‌زمان رابطه مستقیم با ماده دارد، هم‌زمان با ماده توسعه می‌یابد و در کنش و واکنش‌های دینامیکی دخیل است. پیوند بیواسطه و تنگاتنگ ماده^۲ با هندسه‌ی فضا‌زمان نشان می‌دهد که نظریه نسبیت عام نیازی به یک ساختار بیرونی، پس‌زمینه‌ی هندسی، برای بیان قوانین خود ندارد (اصل استقلال پس‌زمینه). در این نظریه تحریفات (پیچ و تاب‌های) هندسی، حاصل از حضور ماده، اثر نیروی گرانشی تلقی می‌شود. در عین حال ما می‌دانیم که ماده در رابطه با سه نیروی قوی، ضعیف و الکترومغناطیسی از قوانین نظریه کوانتوم پیروی می‌کند. لذا طبیعتی که نیروی گرانشی را نیز تابع قوانین نظریه کوانتوم بپنداریم. اما با وجود یک قرن تلاش برای کوانتیزه کردن این نیرو هنوز به موفقیت لازم دست‌نیافته‌ایم و شاید هم هرگز دست‌نیابیم.

در نظریه کوانتوم بعکس نظریه نسبیت عام فضا‌زمان به‌عنوان پس‌زمینه آن پیش‌فرض شده است، برای مثال به‌صورت ۴ بعدی (نسبیت خاص) در نظریه کوانتومی میدان‌های الکترومغناطیسی (کوانتوم الکترودینامیک) و یا در مکانیک کوانتوم کلاسیک، شرودینگر و در این‌جا حتی به‌شکل فضا و زمان مطلق و مجزا از هم، مانند آنچه از فیزیک نیوتنی می‌شناسیم.

برای برون‌رفت از وضعیت ناهماهنگ موجود و پرتوافکنی به مسئله‌ی پس‌زمینه‌ی فلسفه و فیزیک لازم است در عین تلاش برای ارائه نیروی گرانشی به زبان کوانتومی ضعف‌های احتمالی نظریه کوانتوم را برطرف و در صورت عدم موفقیت از این طریق نظریه جامع‌تری را که محیط بر نظریه نسبیت و نظریه کوانتوم باشد ارائه کنیم. در حال حاضر فیزیکدان‌ها سعی دارند به طرق مختلف از جمله کوانتیزه کردن نیروی گرانشی مسئله‌ی دشوار پس‌زمینه را حل کنند.

در مقاله‌ی حاضر می‌خواهیم با یکی دیگر از راه‌حل‌های مطرح برای مسئله‌ی پس‌زمینه - خاستگاه و بافتار فضا و زمان - به اصطلاح 'کوانتای فضا و زمان'، 'بیت‌های کوانتومی فضا و زمان' و یا "'اتم‌های" فضا و زمان' آشنا شویم.

یادآوری: در مقاله 'خاستگاه فضا و زمان'^۲ ایده‌ی مرتبط با نظریه نسبیت، نظریه کوانتوم و ترمودینامیک را بررسی و به آماري بودن فضا‌زمان بر مبنای قوانین ترمودینامیک پرداختیم.

واژه‌ی کوانتا جمع واژه‌ی کوانتوم و برگرفته از عبارت لاتین *quantus* به معنای چه مقدار (کوچکترین واحد گسسته از هر کمیت فیزیکی) است. در باره‌ی مفهوم کوانتوم و کوانت در مقاله‌ی 'کوانتوم و فلسفه'،^۴ می‌خوانیم:

"کوانتوم *quantum* به معنای چقدر، چه اندازه می‌باشد (*how great, wie groß, wie viel*). کوانت *quant* در علم فیزیک به ابژکتی گفته می‌شود که از تغییر حالت یک کمیت فیزیکی در سیستمی با اندازه‌های گسسته (*discrete spectrum*) بدست می‌آید. کوانت‌ها ذرات کوانتومی کمیت‌های فیزیکی می‌باشند، با اندازه‌های معین (کوچکترین اندازه). برای مثال: فوتون (ذره نور) به عنوان کوانت میدان الکترومغناطیسی؛ گلوئون به عنوان کوانت میدان هسته اتم (میدان میان پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته اتم‌ها) و گراویتون به عنوان کوانت (فرضی) میدان گرانشی. یک کمیت کوانتیده همواره مضرب صحیحی از کوانت آن کمیت است. برای مثال، اندازه بار الکتریکی یک جسم برابر مضرب صحیحی از بار الکتریکی یک الکترون (یکانه بار الکتریکی) می‌باشد."^۴

در مقاله 'خاستگاه فضا و زمان'،^۲ بحث رابطه‌ی میان نظریه نسبیت و کوانتوم با علم ترمودینامیک را داشتیم و نوشتیم:

"استفن هاوکینگ در سال ۱۹۷۴ به این نتیجه رسید که عملکرد سیاهچاله‌ها یکسویه نیست، یعنی آنها تنها ماده‌ی اطراف خود را به خاطر نیروی گرانشی فوق‌العاده بالایشان به طرف خود نمی‌کشند، بلکه در طول زمان بسیار طولانی جرم خود را در شکل تابش گرمائی از دست می‌دهند، تبخیر می‌کنند... به این ترتیب معلوم می‌شود که نظریه نسبیت عام (نیروی گرانش) و نظریه کوانتوم و علم ترمودینامیک بنوعی باهم گره خورده و درهم‌تنیده هستند. این درهم‌تنیدگی امکان خاص و جالبی را برای بررسی پدیده‌های کوانتومی در اطراف سیاهچاله‌ها از جمله تابش گرمائی^۶ آنها در اختیار ما قرار می‌دهد. ... یک آشکارساز در فاصله ناچیزی از افق رویداد^۵ یک سیاهچاله در معرض میدان گرانش قوی سیاهچاله است. معنای این گفته با در نظر گرفتن اصل هم‌ارزی گرانش و شتاب آن است که آشکارساز مربوطه از شتاب بالائی برخوردار است. یعنی، می‌تواند نمایانگر (شاهد) تابشی با دمائی به نام دمای آنرو، اندکی کوچکتر از دمای زمینه ماکروویو کیهانی، باشد. ... هر نقطه از فضا زمان روی "افق رویداد سیاهچاله کوچکی" است. بر مبنای این برداشت او [تئودر جاگلسون] توانست معادلات نسبیت عام اینشتین را بدون بهر مجوئی از ایده‌ی فضای خمیده (هندسه ریمانی) از نظر ریاضی استخراج کند! شگفتی و جالبی این روش در آن است که او توانست با یاری مفهوم‌های ترمودینامیکی به یک شناخت مهم دست‌یابد.^{۱۰} این شناخت را می‌توان چنین خلاصه نمود: نیروی گرانش ماهیت آماری دارد. ..."^۲

با فرض صحت داشتن رابطه میان نظریه نسبیت و نظریه کوانتوم با علم ترمودینامیک و نتیجه‌گیری تئودر جاگلسون مبنی بر ماهیت آماری نیروی گرانشی باید اذعان کرد که این نتیجه‌گیری چیزی را در باره‌ی ساختار، اندازه و ماهیت اجزای فضا زمان به ما نمی‌گوید. در همین رابطه لازم است به این مطلب نیز توجه داشته باشیم که:

بکارگیری نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتوم در مقیاس پلانک عملکردی نامتعارف از خود بروز می‌دهند. برای مثال ابژکتی که طول آن کوچکتر (۴) از طول پلانک است به خاطر اصل عدم قطعیت از چنان انرژی‌ای (ماده‌ای) برخوردار می‌باشد که با رُمبش (انقباض) خود ایجاد یک سیاهچاله می‌کند. به همین خاطر فیزیکدان‌ها معتقدند که در مقیاس پلانک نیاز به یک نظریه فرای نظریه نسبیت و نظریه کوانتوم، (و محیط بر این دو) داریم. اما از آن‌جاکه یک چنان نظریه‌ای را نمی‌شناسیم راهی جز بررسی ایده‌ها و راه حل‌های پیشنهاد شده از جمله کوانتیزه کردن نیروی گرانشی نداریم. در حال حاضر یکی از راه حل‌های مطرح، آمیختن و تطبیق نظریه کوانتوم و نظریه نسبیت عام، به نام *گرانش کوانتومی حلقه* (*Schleifenquantengravitation, Loop Quantum Gravity*) می‌باشد که در زیر به معرفی آن می‌پردازیم.

مدلی مشابه بافته‌شده‌ها

گرانش کوانتومی حلقه ویژگی‌های کوانتومی نیروی گرانشی (ساختار فضا زمان) را مشابه ساختار اجسام بافته‌شده (پارچه) تلقی می‌کند. یعنی، فضا در این نظریه متشکل از شبکه‌های کوانتوم - دینامیکی چیزی به نام اسپین یا متغیر *اشتکار* (و یا هر نام دیگری) تصور شده است که توسط نمودارهایی از خطوط و گره‌ها نشان داده می‌شود (تصویر ۱). در واقع گرانش کوانتومی حلقه می‌کوشد نظریه‌ای برای فضای کوانتومی و زمان کوانتومی باشد. در این‌جا شبکه اسپین بیانگر حالت کوانتومی فضا در یک زمان خاص است. فیزیکدان‌ها امیدوارند بتوانند از این طریق نیروی گرانشی را کوانتیزه و به وحدت میان نیروهای بنیادی دست یابند. این مدل را می‌توان *کوانتوم اسپین دینامیک* (*Quantenspindynamik, Quantum Spin Dynamics*) نامید. گرانش کوانتومی حلقه گزینه‌ی جالبی در مقابل نظریه ریسمان‌هاست، به‌ویژه به این خاطر که معادلات نظریه ریسمان‌ها آپریوری در فضا زمان پنداشته شده و فرمولبندی می‌شوند. پیش از پرداختن به بحث گرانش کوانتومی حلقه نگاهی داریم به تاریخ نه چندان طولانی آن.

تاریخ گرانث کوانتومی حلقه

در سال ۱۹۷۱ راجر پنروز (Roger Penrose)، ریاضیدان و فیزیکدان نظری انگلیسی متولد ۱۹۳۱، پیشنهاد شبکه‌های اسپین (Spin Networks) برای نظریه گرانث کوانتومی را می‌دهد. اما پیگیری و توسعه آن از اواسط دهه هشتاد قرن گذشته از جانب ابهی و اسانت اشتکار^۵ و^۶ (Abhay Vasant Ashtekar)، فیزیکدان نظری هندی - آمریکائی متولد ۱۹۴۹، لی سمولین^۷ و^۸ (Lee Smolin)، فیزیکدان نظری آمریکائی متولد ۱۹۵۵ و کارلو راولی^۹ و^{۱۰} (Carlo Rovelli)، فیزیکدان نظری ایتالیایی متولد ۱۹۵۶ و تعدادی از فیزیکدان‌های دیگر آغاز می‌شود.

عنوان گرانث کوانتومی حلقه در سال ۱۹۸۶ از جانب اشتکار پیشنهاد شد. به این خاطر که او توانست نظریه نسبیت عام اینشتین را بگونه‌ای فرمولبندی کند که به نظریه الکترومغناطیس ماکسول و مفهوم خطوط میدانی آن شباهت داشت. در همان سال تیودر جاگسون و لی سمولین موفق می‌شوند معادله ویلر - دیویت (از آن کیهان‌شناسی کوانتومی) را برطبق طرح اشتکار بیان، حل و به جواب‌های دقیقی از این معادله دست یابند.

مارتین بوجوالد (Martin Bojowald)، فیزیکدان نظری آلمانی متولد ۱۹۷۳ با بکارگیری مدل گرانث کوانتومی حلقه در حوزه کیهان‌شناسی به این نتیجه رسید که کیهان پیش از بیگ‌بنگ نیز وجود داشته است.^{۱۱}

گرانث کوانتومی حلقه

در گرانث کوانتومی حلقه، فضا پس‌زمینه‌ی رخدادها محسوب نمی‌شود بلکه ابژکتی است دینامیکی که از قوانین نظریه کوانتوم پیروی می‌کند. "خروجی اصلی این نظریه تصویری فیزیکی از فضا است که در آن فضا دانه دانه‌ای است. دانه دانه‌ای بودن پیامد مستقیم کوانتایی‌سازی است. این دانه‌ای بودن مشابه دانه‌ای بودن فوتون‌ها در نظریه کوانتومی الکترومغناطیسی یا سطوح انرژی در اتم‌ها می‌باشد."^{۱۲} بدین ترتیب حالت کوانتومی فضا توسط شبکه‌هایی از "دانه‌ها" یا آن‌گونه که پیشتر گفتیم "گره‌ها" توصیف می‌شود. یعنی، هندسه‌ی آن در هر زمان توسط ساختارهای یک بعدی، خطوطی که (با مضرب عدد صحیحی از $\frac{1}{2}$ ، شبیه به اسپین در ذرات بنیادی) بهم متصل هستند، تصور می‌شود (تصویر ۱). گره‌ها در این مدل با ویژگی‌های مشابه اسپین ذرات بنیادی و در فاصله‌ی طول پلانک $m \cdot 10^{-35} \cdot 166$ از هم قرار دارند. به‌خاطر پیچیدگی خاص زمینه‌ی ریاضی نقاط اتصالی خطوط ذکر شده از توضیح آن صرف‌نظر می‌شود.

تذکر: توجه داریم که مفهوم حلقه در گرانث کوانتومی حلقه معنایی متفاوت از آن‌که در نظریه ریسمان‌ها بکار برده می‌شود دارد. همان‌گونه که پیشتر گفتیم گرانث کوانتومی حلقه آلترناتیو قابلی در مقابل نظریه ریسمان‌هاست.

اشتکار و همکارانش بافت فضازمان را متشکل از گراف‌ها یا شبکه‌های در حال توسعه از خطوط جهت‌دار تصور می‌کنند. نمودارهای خطی در این مدل (نظریه) به مثابه اطلاعات سطوح و حجوم کوانتیزه شده‌ی پیرامونشان (که به آن‌ها نفوذ می‌کنند) بحساب می‌آیند. طبق نظر پایه‌گذاران این شیوه‌ی کوانتیزه کردن نیروی گرانثی لازم است که انتهای هر یک از این خطوط در شبکه بشکل حلقه بهم گره بخورند. به‌همین خاطر نیز این مدل گرانث کوانتومی حلقه نامیده می‌شود. نمودارها در این مدل شکل‌دهنده‌ی فضازمان محسوب می‌شوند. به این معنا که اطلاعات نهفته در خطوط جهت‌دار فرم بافتار فضازمان در محدوده‌ی خود را تعریف می‌کنند و گره‌ها (حلقه‌ها) به‌عنوان ابژکت‌های کوانتومی، کوچکترین واحد مساحت (کوانتوم مساحت) محسوب می‌شوند، همانند حداقل انرژی حالت پایه برای یک الکترون در یک اتم هیدروژن. طول کوانتوم مساحت در هر طرف حدود طول پلانک است. یعنی، فضا در گرانث کوانتومی حلقه یک ابژکت دینامیکی تابع نظریه کوانتوم، "بافته شده" از کوانتای فضا و زمان، در نظر گرفته شده است.

یکی از ویژگی‌های گرانث کوانتومی حلقه آن است که با کوانتای مساحت (کوچکترین سطوح) کار می‌کند. این ویژگی سبب گشته که در این مدل مسئله‌ای به نام تکینگی (انحنای بی‌نهایت) وجود نداشته باشد. به عبارت دیگر، مشکل تکینگی نظریه نسبیت عام اینشتین (در سیاهچاله‌ها و بیگ‌بنگ) که باعث بی‌اعتبار شدن این نظریه در مقطع تکینگی^{۱۳} می‌شود در مدل گرانث کوانتومی حلقه اصولاً پیش نمی‌آید و این مزیت بزرگی برای آن محسوب می‌شود. با در نظر گرفتن این مزیت اشتکار و همکاران او توانستند در سال ۲۰۰۶ یک‌رشته شبیه‌سازی‌ها انجام دهند که در آنها از معادلات نظریه نسبیت عام در فرم مشابه نظریه الکترومغناطیسی، یعنی گرانث کوانتومی حلقه، استفاده شده. حرکت زمان در این شبیه‌سازی‌ها در جهت معکوس در نظر گرفته شده بود، یعنی زمان به عقب می‌رفت. هرچه زمان بیشتر به عقب می‌رفت به‌همان نسبت نیز کیهان کوچکتر و کوچکتر می‌شد. اما در لحظه نزدیک شدن به حداقل اندازه در گرانث کوانتومی حلقه ناگهان یک نیروی دافعه از بروز تکینگی جلوگیری می‌کند و در عین حال تونلی را به کیهان ماقبل کیهان ما می‌گشاید. مشابه این شبیه‌سازی‌ها در مورد سیاهچاله‌ها نیز صورت گرفته است. شبیه‌سازی در باره‌ی سیاهچاله‌ها نشان می‌دهد مشاهده‌گری که به مرکز سیاهچاله نزدیک می‌شود شاهد تکینگی نیست بلکه در تونل باریکی در فضازمان به بخش دیگر از فضا راه می‌یابد.^{۱۴}

جمع‌بندی

سواى نتایج قابل توجه شبیه‌سازی‌های ذکر شده، گرانش کوانتومی حلقه توان توضیح تابش گرمایی هاوکینگ^۲ و رابطه میان آنروپی با سطح سیاهچاله‌ها^۳ را نیز دارد. با این حال گرانش کوانتومی حلقه عاری از نارسائی‌ها نیست، برای مثال این مدل توضیح نمی‌دهد که فضا زمان پیوسته چگونه از شبکه‌های اطلاعاتی ناپیوسته شکل می‌گیرد و یا در باره‌ی سه نیروی کوانتومی ذکر شده در بالا چیزی نمی‌گوید. در حالی‌که هدف از کوانتیزه کردن نیروی گرانشی (در صورت جدی گرفتن اصل استقلال پس‌زمینه‌ی نظریه نسبیت عام) دستیابی به یک نظریه کوانتومی عام‌تر، عمومیت دادن به نظریه کوانتوم حاضر، برای رسیدن به وحدت نیروهای بنیادی می‌باشد. خواست ما یک چنان نظریه‌ای است، نظریه کوانتومی‌ای که همچنین به ما بگوید در مقطع بیگ‌بنگ و مرکز سیاهچاله‌ها چه می‌گذرد. بی‌گمان ما هنوز راه دشواری پیش‌رو داریم.

مراجع

۱. لینک تصویر مقاله

1. <https://www.einstein-online.info/spotlight/spinnetzwerke>

2. Hassan Bolouri, The origin of space and time

۲. حسن بلوری، 'خاستگاه فضا و زمان'، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه مارچ ۲۰۲۱

3. Hassan Bolouri, The concept of matter in Philosophy and Science

۳. حسن بلوری، 'مفهوم ماده در فلسفه و علم'، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه می ۲۰۲۰

4. Hassan Bolouri, Quantum and Epistemology

۴. حسن بلوری، کوانتوم و معرفت‌شناسی، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه سپتامبر ۲۰۱۹

5. Abhay Vasant Ashtekar, New variables for Classical and quantum gravity, Phys. Rev. Lett., 57, 1987

6. Abhay Vasant Ashtekar, A new Hamiltonian formulation of general relativity, Phys. Rev. D 36, 1987

7. Carlo Rovelli and Lee Smolin, Knot theory and quantum gravity, Phys. Rev. Lett. 61. 1988

8. Carlo Rovelli and Lee Smolin, Loop space representation of quantum general relativity, Nuclear Physics B, 331, 1990

9. Carlo Rovelli and Lee Smolin, Discreteness of Area and Volume in Quantum Gravity, Nuclear Physics B, 442 1995

10. Carlo Rovelli and Lee Smolin, Spin Networks and Quantum Gravity, Smolin, Phys. Rev. D 53, 5743, 1995

11. Martin Bojowald, Zurück vor den Urknall, S. Fischer, Frankfurt/Main, 2009

12. Wikipedia, The free Encyclopedia, Farsi

۱۲. ویکی پدیا، دانشنامه آزاد، فارسی

13. Hassan Bolouri, White hole, Wormhole, Black hole

۱۳. حسن بلوری، مفهوم ماده در: سفیدچاله، کرمچاله سیاهچاله، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه اوت ۲۰۲۰

14. Hassan Bolouri, Mechanisms (Centaurus)

۱۴. حسن بلوری، سازوکارها، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه سپتامبر ۲۰۲۰