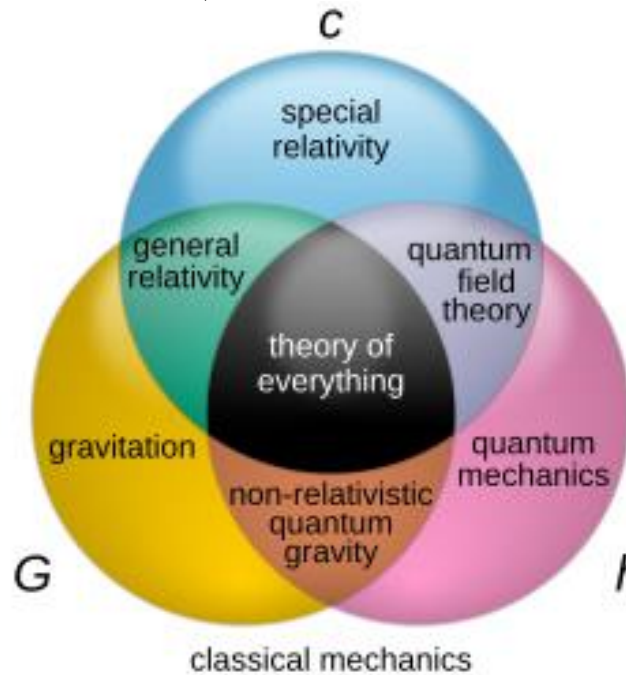


معمای فضا زمان

نسبیت و کوانتوم



The mystery of spacetime, relativity and quantum¹

آیا می‌توان جهان هستی را بدون فضا زمان توصیف کرد؟

اینشتین آرزویی چنین چیزی را داشت. اما، این آرزو به گفته او بدان می‌ماند که آدمی به‌خواهد در جایی بدون اکسیژن تنفس کند. آرزو و گفته‌ای که بدرستی معمای فضا زمان را آشکار می‌کند.

فشرده

علم فیزیک، چه کلاسیک و چه کوانتومی، با پیش فرض فضا زمان^{۴،۳،۲} بنا شده است: فیزیک نیوتنی در بستر فضا و زمان مطلق، سوا از هم، ساکن و تخت، نظریه نسبیت عام اینشتین بر مبنای فضا زمان^۴ بعدی انحنادار و دینامیک مرتبط با ماده و انرژی و نظریه کوانتومی در بستر فضا زمان^۴ بعدی نظریه نسبیت خاص، ساکن و تخت (فضا زمان مینکوفسکی). این همه در حالیتی که اصولن درستی پیش فرض فضا زمان به اثبات نرسیده است! افزون بر این، نظریه نسبیت عام بدون در نظر گرفتن اصول و قوانین نظریه کوانتومی و نظریه کوانتومی بدون ملاحظه‌ی نظریه گرانشی با اصول و قوانین دینامیکی بنا شده‌اند. این مطلب و همین‌طور پیش فرض فضا زمان، آن‌هم در نظریه کوانتومی به یک شکل و در نظریه نسبیت عام به شکل دیگری، منشاء ناهماهنگی میان دو نظریه‌ی اساسی فیزیک همراه با کاستی‌ها در هر یک از آنها گشته است. شکی نیست که یک چنین وضعیتی نمی‌تواند رضایت‌بخش باشد. به‌ویژه به این دلیل که ما در اصل تنها با یک کیهان در هم تنیده سروکار داریم. از این‌رو نیاز به نظریه‌ی جامع‌تری است که کیهان را هماهنگ و بدون از کاستی‌ها توصیف کند.

در حال حاضر، دانش ما از جهان هستی تا محدوده‌ی زمان پلانک (۱۰^{-۴۴} ثانیه) معتبر شناخته می‌شود. این محدوده بر مبنای نظریه کوانتومی حاضر تعیین شده است.^{۵،۶} اما، امکان دارد با درک درست از فضا زمان، این مرز تغییر کند. وضعیت در سیاهچاله‌ها چگونه است؟ نمی‌دانیم. شاید بتوان پاسخ به این پرسش و همچنین پرسش مربوط به حالت اولیه و لحظه پیدایش کیهان را از طریق بنای نظریه‌ای به نام نظریه گرانش کوانتومی دریافت.

بی‌گمان، مسائل ذکر شده نیاز به توضیح و بررسی‌های بیشتر دارند که مایلیم در طول یک سلسله مقالات به آنها بپردازیم. در مقاله حاضر می‌خواهیم پس از پیشگفتار و توضیحات اولیه در باره‌ی نظریه نسبیت عام و نظریه کوانتومی به مقوله‌ی (گویه‌ی) فضا زمان در رابطه با این دو نظریه‌ی اساسی فیزیک مدرن پرداخته و در ادامه طرح معمای فضا زمان کنیم.

پیشگفتار

پرسش بارها تکرار شده در باره‌ی چیستای فضا و زمان در طول تاریخ از دوران‌های دور تاکنون نشان از اهمیت و لزوم فهم این دو مقوله دارد - مقوله به‌معنای گویه یا گفته شده و نه به‌معنای مفهوم، یعنی فهمیده شده.

فضازمان به باور بسیاری صحنه یا بستریست که رویدادهای کیهانی در آن اتفاق می‌افتد. بی‌آن‌که توضیح داده شود، این بستر چه نوع بستریست، از چه چیزی ساخته شده و چگونه شکل گرفته است. آیا فضازمان واقعن همانی است که گمان زده می‌شود یا نمودیست از عناصر ناشناخته شده‌ی ماده و انرژی؟ و یا اصولن فضازمانی وجود ندارد و انسان به دلایلی از جمله فرگشت و برداشت نه چندان ژرف از رویدادها به چیزی که سرابی بیش نیست گرایش پیدا کرده است. این گرایش زمانی مورد پذیرش است که فضازمان به‌عنوان یک مفهوم فهمیده، تعریف شده و تجربی ملموس باشد.

بی‌گمان اشیاء (اشکال مختلف ماده و انرژی) مکان‌هایی را اشغال می‌کنند. اما، آیا این دلیلی بر وجود فضازمان است؟ و یا برعکس، فضازمان نمودی از وجود ماده و انرژی است؟

در واقع فضازمان، چنانچه اصولن وجود داشته باشد، زمانی می‌تواند مورد پذیرش واقع شود که به‌معنای واقعی کلمه‌ی مفهوم، فهمیده شده باشد. احتمالن در این حالت نه تنها امکان برطرف کردن محدودیت‌ها و کاستی‌های اساسی در نظریه‌های کوانتوم و نسبیت عام وجود دارد بلکه امکان وحدت این دو نظریه در شکل یک نظریه جامع‌تر نیز ایجاد می‌شود. در ادامه می‌توان امیدوار بود بتوان از این طریق به شناخت بهتری از رویدادهای بنیادی جهان هستی دست یافت. در اینجا مهم است بدانیم، اینشتین در باره‌ی مفهوم و کاربردش در فیزیک چه نظری دارد. او می‌گوید:

"توجیه یک مفهوم فیزیکی فقط مبتنی بر رابطه‌ی روشن و بدون ابهام آن با واقعیت‌های ملموس است."^۷

آیا ما یک چنین توجیهی برای مقوله‌های فضا و زمان داریم؟ یعنی، آنها را روشن و بدون ابهام با واقعیت‌های ملموس می‌دانیم؟ یا نه، ما فضا و زمان را چیزی مستقل از داده‌های تجربی و فقط حسی و یا به تعبیر امانوئل کانت، مطلق و پیشینی (a priori) دریافته‌ایم؟ و یا احیانن متکی بر تفکر منطقی می‌دانیم؟ اینشتین در رابطه با تفکر منطقی می‌نویسد:

"تفکر منطقی لزومن قیاسی است و بر مبنای مقوله‌ها و بدیهیات فرضی (اصول موضوعه) پایه‌گذاری شده است."^۹

لازم به ذکر است که نظریه‌های علمی، مدل‌هایی بیش برای توصیف واقعیت‌ها نیستند. در اصل هیچ نظریه علمی، مانند نظریه‌های فیزیکی نه کامل و نه قابل اثبات هستند. در واقع این نظریه‌ها فقط در خیال ما وجود دارند. یعنی، ما با تکیه بر ثابت‌های طبیعی چندی در تلاش برای درک فلسفه‌ی طبیعت هستیم. از این‌رو، ما از یک نظریه فیزیکی انتظار داریم:

۱. گروه بزرگی از مشاهدات را توصیف کند و ۲. پیش‌بینی‌های ویژه‌ای را در مورد نتایج مشاهدات آینده ممکن سازد.

در باره نظریه نسبیت

اینشتین در سال ۱۹۰۵ نظریه نسبیت خاص و در سال ۱۹۱۵ نظریه نسبیت عام را ارائه کرد. از آن زمان به این‌سو بخش‌های گوناگون علمی و فنی پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند، به‌ویژه کیهان‌شناسی که جهش‌وار، با شتاب بالا و بی‌همتا در تاریخ این علم، وارد فصل جدیدی شده و به‌طور روزافزون ما را با شگفتی‌های جهان هستی آشنا می‌کند.

نظریه نسبیت خاص، بالاترین سرعت در طبیعت را سرعت نور می‌داند و فضازمان را ۴بعدی تخت (افلیدسی، فضازمان مینکوفسکی) بدون ماده و انرژی تصور می‌کند. فضازمان مینکوفسکی بستری پیش‌فرض شده برای نظریه کوانتومی محسوب می‌شود.

نظریه نسبیت عام، با ملاحظه سرعت نور و همچنین ماده و انرژی، فضازمان را ۴بعدی انحادار (ناافلیدسی، فضازمان ریمانی) می‌داند. در این نظریه، ماده و انرژی به فضازمان دیکته می‌کند چگونه باید خم شود و فضازمان به ماده و انرژی دیکته می‌کند چگونه باید حرکت کند. یعنی، نظریه نسبیت عام دارای ساختاری دینامیک و بعکس نظریه کوانتومی و فیزیک نیوتنی بدون پس‌زمینه (بستر) است.

نظریه نسبیت و نظریه کوانتومی هر یک بخش‌های مهمی از جهان هستی را برابر با شواهد و داده‌های عینی توصیف می‌کنند، بی‌آن‌که در بنیاد باهم هماهنگ باشند. به این معنا که اولی بدون پس‌زمینه و دومی با پس‌زمینه فضازمان و یا یکی کلاسیک و دیگری کوانتومی است. و این در حالیکه از نظریه‌های علمی انتظار داریم، در توصیف جهان هستی از یک پایه حرکت کنند. اما، ما شاهدیم که نظریه نسبیت عام در توصیف ساختارهای ماکروسکوپی بدون در نظر گرفتن نظریه کوانتومی و نظریه کوانتومی در توصیف ساختارهای میکروسکوپی بدون ملاحظه نظریه نسبیت عام عمل می‌کنند. اولی در مقطع تکنیکی مشکل دارد و دومی با پس‌زمینه فرضی. بی‌گمان، این وضعیت را نمی‌توان رضایت‌بخش دانست.

در باره نظریه کوانتومی

نظریه کوانتومی (شامل مکانیک کوانتومی، مکانیک کوانتومی نسبیتی و میدان‌های کوانتومی) یکی از دو ستون اصلی و پرتوان علم فیزیک مدرن در کنار نظریه نسبیت عام است. نظریه کوانتومی به بررسی رفتار و ویژگی‌های ماده و انرژی در سطح اتمی و زیراتمی می‌پردازد. این نظریه در طول یک قرن گذشته چنان توسعه یافته است که نه تنها قادر به توصیف فرایندهای بی‌شمار دنیای میکروسکوپیست بلکه کاربردهای دنیای فنی را با شتاب روزافزون متحول کرده و می‌کند. نظریه کوانتومی به این دلیل که فیزیک کلاسیک توان توصیف نور و ساختار میکروسکوپی ماده را نداشت با فرضیه ماکس پلانک در سال ۱۹۰۰ که بعدها تحت عنوان قانون تابش پلانک معروف شد، پا به عرصه وجود گذاشت.

نظریه کوانتومی، ذرات زیراتمی را با ویژگی‌هایی مانند جرم، بار الکتریکی و اسپین (چرخش) مشخص می‌کند و این ویژگی‌ها را برای تمامی ذراتی از یک نوع، یکسان می‌داند. در مقابل، اثرکت‌های ماکروسکوپی، نه از تک ذرات و یا از تک اتم‌ها بلکه از تعداد بسیار زیادی از اتم‌ها تشکیل شدند. در اینجا، برای مثال مفهوم اسپین معادل کلاسیک ندارد.

در نظریه کوانتومی، مفهومی (کمیتی) بنیادی به نام ضریب یا ثابت پلانک تقریباً برابر با $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ وجود دارد که بیان از رابطه بین انرژی و بسامد (فرکانس) ذرات کوانتومی، مانند فوتون‌ها، دارد. این ضریب نقش تعیین کننده در توصیف پدیده‌های گوناگون کوانتومی که فقط با مقادیر گسسته مشاهده می‌شوند دارد، به‌عنوان مثال در پدیده‌ای به نام اثر فوتوالکتریک^۱.

برخورداری ذرات کوانتومی، مانند ذره الکترون، از ویژگی موجی فرق نظریه کوانتومی با نظریه کلاسیک را نمایان می‌کند. این را می‌توان به روشنی در دنیای ماکروسکوپی که در آن ضریب پلانک نقشی ندارد مشاهده نمود.

در اینجا لازم می‌دانم به این امر مهم اشاره کنم: توجه داشته باشیم که استفاده از مفهوم ذره در نظریه کوانتوم در ذهن آدمی نوعی تصور خویشاوندی با مفهوم ذره در فیزیک کلاسیک ایجاد می‌کند. این تصور اساساً درست نیست و واقعیت ندارد. یک نگاه ساده به فرایندهای دنیای اتمی، ویژگی‌هایی را نمایان می‌کند که آشکارا با فرایندهای کلاسیک متفاوت هستند.

نظریه کوانتومی، یک نظریه آماری است. به این معنا که این نظریه بعکس نظریه کلاسیک (مکانیک آماری و ترمودینامیک آماری) نه با تک ذره‌ها بلکه با گروه‌های آماری متشکل از ذرات سروکار دارد. یعنی، قوانین نظریه کوانتومی در شکل آماری - احتمالاتی مطرح هستند، قوانینی با کمیت‌های گسسته و مقادیر ثابت.

در باره معمای فضا-زمان

یکی از پرسش‌های بزرگ انسان در طول تاریخ، همواره مسئله فضا و زمان بوده و هست. در این باره در مقاله^۲ تحت عنوان 'مفهوم فضا' آمده است:

"مفهوم فضا مانند مفهوم زمان و مفهوم ماده در صد سال گذشته در ارتباط با دست‌آوردهای شگرف علمی تغییرات اساسی داشته است، تغییراتی حاصل از نقد فیزیکی و فلسفی آن. مفهوم جدید فضا بسیار متفاوت از آنی است که در طول هزاران سال گذشته تا اوایل قرن بیستم مطرح می‌شد ...

فضا برای دانش فلسفه یک مؤلفه‌ی اساسی به حساب می‌آید. این که آیا فضا محدود است یا نامحدود، مطلق است یا نسبی و یا آیا اصولن چیزی به نام فضا وجود دارد یا صرفن رابط میان اشیاء و یا بخشی از یک چارچوب مفهومی، همواره در دانش فلسفه محل مناقشه بوده است. انتولوژی و متافیزیک سعی در توضیح فضا، مستقل از تجربه و پدیدارشناسی، و تجزیه و تحلیل فرم‌های آن دارند. علم فیزیک جدید، فضا را مقوله‌ای نسبی می‌داند و آن را در نظریه‌ای از اوایل قرن بیستم به نام نظریه نسبیت به اثبات رسانده است.^۳ و در مقاله^۴ تحت عنوان 'زمان چیست و چگونه به دنیا آمد؟' می‌خوانیم:

"مقوله‌ی زمان سخت با تجارب روزمره‌ی ما گره خورده است. برای مثال، ما پروسه‌ی حیات را بازگشت‌ناپذیر و یک‌سویه شاهدیم. آیا این به معنای وجود زمان، یک‌سویه و جهت‌دار بودن آن است؟ حواس ما یک چنین حالتی را به ما القاء می‌کنند: در شکل زمان مطلق و جاری شدن یک‌خواخت آن. حالتی که ذکرهای رازی و هفتصد سال بعد از او نبوتن آن را با چنان مشخصاتی توصیف نموده و سپس کانت آن را نه تنها مطلق بلکه آپریوری، پیشاتجربی، پیشینی نیز دانسته است. چنین برداشت‌هایی از مقوله‌ی زمان بسیار ساده و در نهایت نادرست و نیازمند تجدید نظر است. برای این منظور لازم است مقوله‌ی زمان را مستقل از حواس بررسی نمود. ...

به دلیل آن که قوانین طبیعی هیچ نشانی برای تعریف زمان از خود بروز نمی‌دهند، لذا عملن راهی جز تعریف دلخواه و قراردادی آن باقی نمی‌ماند. از این رو، ماخ، پوانکاره، اینشتین، رایشنباخ، کارناپ، گرونیام و بسیاری دیگر اقدام به بررسی همه‌جانبه‌ی زمان قراردادی کردند. بررسی‌های نظری و تجربی نشان دادند که زمان قراردادی توان توضیح مسائل حل

نشده را دارد و قادر است بگوید که چرا اندازه‌های زمان در حرکت‌ها و یا در مکان‌های مختلف در مقایسه باهم یکسان نیستند.^۴ و بالاخره در مقاله^{۱۱} تحت عنوان 'عدم زمان' می‌خوانیم:

"مفهوم زمان در زندگی، نوع تفکر و جهان‌بینی ما نقش مهمی بازی می‌کند. با این حال ما زمان را هرگز مشاهده نکرده و نمی‌کنیم. علت این امر چیست؟ ...

مفهوم زمان در توصیف ما از جهان هستی نقش بسزایی بازی می‌کند. اما، این مفهوم چه معنایی دارد؟ آیا اصولن می‌توان از مفهوم زمان، مفهوم به معنای فهمیده شده، صحبت کرد در حالی که نمی‌توان آن را مشاهده و تجربه نمود؟ برای مثال، آیا ما در حین مطالعه، زمان را حس می‌کنیم یا چیزی به نام بازه زمان را؟ چنانچه هر دو کمیت‌های فیزیکی، یعنی واقعی باشند، بایستی بتوان این دو را اندازه‌گیری کرد. اما تجربه نشان می‌دهد که تنها بازه زمان قابل اندازه‌گیری است و نه زمان.

آیا زمان آغاز و پایانی دارد؟ آیا می‌توان میان گذشته، حال و آینده تفکیک قائل شد؟ آیا 'حال' در علم فیزیک معنا دارد؟ آیا جهت زمان در همهی عرصه‌های طبیعی به یک سو است؟ آیا یک سویه بودن زمان در ترمودینامیک کلاسیک در مورد ترمودینامیک کوانتومی نیز صادق است؟ آیا قوانین شناخته شده‌ی فیزیک جوابگوی این نوع پرسش‌ها هستند؟^{۱۲}

آلبرت اینشتین در رابطه با زمان و تفکیک آن به گذشته، حال و آینده، چهار هفته پیش از مرگش در سال ۱۹۵۵ در نامه تسلیت به بازماندگان می‌کله بسو، دوست صمیمی و ایتالیایی دوران جوانی‌اش، می‌نویسد:

"برای ما فیزیک‌دانان باورمند، تفکیک میان گذشته، حال و آینده تنها معنای یک آرزوی محال را دارد."^{۱۳}

در ادامه مقاله^{۱۱} همچنین آمده است:

"زمان فیزیکی یا زمان ابرکتیو به زمانی (بازه زمان) گفته می‌شود که به قول اینشتین با ساعت اندازه‌گیری می‌شود (اینشتین: "زمان همان چیزی است که ساعت نشان می‌دهد"^{۱۴}). در مقابل زمان پدیدارشناسی یا زمان سوبرکتیو به زمانی (بازه زمان) گفته می‌شود که متأثر از تجربه، موقعیت، شرایط، و روحیه سنجش‌گر است. به همین خاطر بازه زمان سوبرکتیو می‌تواند در مقایسه با بازه زمان ابرکتیو طولانی‌تر و یا کوتاه‌تر به نظر آید، یعنی سریع‌تر یا کندتر طی شود. ... مشاهدات ما نشان می‌دهند که فرایندهای طبیعی (در دنیای ماکروسکوپی) یک‌سویه، یعنی برگشت‌ناپذیر، جهت‌دار هستند. حال می‌پرسیم: جهت پروسه‌ها و با آن حس زمان (حس گذشت زمان در دنیای ماکروسکوپی) ناشی از چیست؟ پاسخ کوتاه: ناشی از عدم تعادل حالت سیستم‌های طبیعی (فیزیکی) است.

چنانچه تمامی آنچه در کیهان وجود دارد در حالت تعادل باشد، به عنوان مثال در حالت مرگ گرمایی (با چشم‌پوشی از نوسانات کوانتومی)، در این صورت طبیعتی که نتوان کوچکترین تغییر و تحولی را در آن مشاهده کرد. این بدان معناست که ما در اینجا با حالت آنتروپی حداکثر مواجه هستیم. این حالتی است که در آن حتا مفهوم بازه زمان نیز بی‌معنا می‌شود. مفهوم بازه زمان همان‌گونه که ذکر شد تنها در رابطه با حالت عدم تعادل سیستم‌های فیزیکی و تغییرات آنها معنا پیدا می‌کند.

شکل‌گیری ساختارهای بانظم در طبیعت همراه با تولید آنتروپی و انتقال آن به محیط عملی است. مثال باز آن جانداران از جمله انسان است.

حس بازه زمان، ناشی از تجربه و مشاهده‌ی تغییر حالت سیستم‌ها در حالت عدم تعادل آنها، یعنی به خاطر وجود اختلاف آنتروپی در آن سیستم‌ها می‌باشد. به بیان دیگر، حس بازه زمان به دلیل تغییراتی است که در یک مجموعه از سیستم‌ها با آنتروپی‌های مختلف صورت می‌گیرد. در این حالت‌ها می‌توان از مفهوم زمان درونی (دقیق‌تر: بازه زمان درونی) صحبت کرد اما نه از کمیت یا مفهومی به نام مفهوم زمان. معادله‌ی معروف به معادله‌ی ویلر - دیویت گویای این واقعیت است.^{۱۴} ... از آنجاکه هر نوع فعل و انفعالی آنی صورت نمی‌گیرد (نبود "حال"، یعنی بازه زمان برابر با صفر) بلکه کم یا زیاد به اصطلاح 'زمان‌بر' است، یعنی با بازه زمان میسر است، در نتیجه در غیاب بازه زمان، سخن از مفهوم زمان گفتن چه معنایی دارد؟ ... مفهوم زمان در نظریه کوانتومی متفاوت از آنی است که نظریه نسبیت بیان می‌دارد. به این معنا که زمان در نظریه کوانتومی به شکل یک پارامتر است. یعنی، پروسه‌ها در این نظریه می‌توانند بازگذشت‌پذیر باشند. اما، در نظریه کلاسیک، پروسه‌ها دارای جهت زمان بوده و بازگشت‌ناپذیرند. زمان در نظریه نسبیت در هم‌تنیده با فضا مطرح است.^{۱۵}

سخن پایانی

توضیحات ذکر شده نشان می‌دهند، برای درک بهتر از عملکرد گیتی لازم است روشن کرد که آیا اصولن چیزی به نام فضازمان وجود دارد. اگر آری، در این صورت باید تلاش کرد علم فیزیک را حداقل در بنیاد هماهنگ بنا نمود و نه آن‌گونه که اکنون شاهدیم: در بخشی با فضازمان فرضی، ساکن و تخت (نظریه کوانتومی) و در بخش دیگری با فضازمان دینامیک و انحنادار (نظریه نسبیت عام). اما، اگر واقع چیزی عینی به نام فضازمان وجود ندارد، باز می‌باید تلاش کرد بنیاد فیزیک را با کسب مفهوم یا مفهومی‌هایی روشن و بدون ابهام آنها با واقعیت‌های ملموس و هماهنگ بنا کرد. نیاز به هماهنگی

در بنیاد فیزیک به این دلیل ضروری به نظر می‌رسد که ما در واقع و عملن با یک کیهان واحد و در هم تنیده سروکار داریم. یکی از مشکلات بزرگ بر سر راه بنای هماهنگ علم فیزیک اینست که کمیت‌های مورد نظر فقط در مقیاس طول‌های نزدیک به طول پلانک (10^{-35} متر) امکان‌پذیر است. به بیان دیگر، برای مشاهده‌ی چنین کمیت‌هایی در این مقیاس‌ها نیاز به انرژی‌هاییست که در اختیار نداریم. اما، چنانچه راه حلی برای این مشکل پیدا شود، به احتمال موفق به هماهنگ کردن بنیاد علم فیزیک خواهیم شد. بی‌گمان، در این صورت نتیجه‌ای که به دست خواهیم آورد چیزی بیش از حل مسئله‌ی نابسامانی در بنیاد فیزیک کنونی خواهد بود. چراکه به احتمال، نتیجه دریافتی می‌تواند نه تنها توصیف چگونگی آغاز کیهان و حالت‌های داخلی سیاهچاله‌ها را که تاکنون ناروشن مانده‌اند فراهم کند بلکه اصولن تصور ما از عملکرد جهان هستی را دگرگون نماید.

مراجع

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_gravity
2. Hassan Bolouri, **Symmetry: the key to recognizing the cosmos**
۲. حسن بلوری، 'تقارن: کلید شناخت کیهان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۰
3. Hassan Bolouri, The Concept of Space
۳. حسن بلوری، 'مفهوم فضا'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۰
4. Hassan Bolouri, Time: What is it and how did it come into the world?
۴. حسن بلوری، 'زمان چیست و چگونه به دنیا آمد؟'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه دسامبر سال ۲۰۱۹
5. Hassan Bolouri, The Quanta of Space and Time
۵. حسن بلوری، 'کوانتای فضا و زمان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه آوریل سال ۲۰۲۱
6. Hassan Bolouri, Quantum, and Philosophy
۶. حسن بلوری، 'کوانتوم و فلسفه'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۱۹
7. <https://archive.spectator.co.uk/article/23rd-april-1921/19/the-einstein-theory>
8. <https://medium.com/startsWith-a-bang/10-spacetime-mysteries-that-quantum-gravity-could-solve-453f5b3be605>
9. Albert Einstein, Physik und Realität, In: Journal of The Franklin Institute, Vol. 221, March 1936, No. 3, S. 313-347
10. Albert Einstein, Ueber einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. In: Annalen der Physik. Band 322, Nr. 6, 1905, S. 132-148
11. Hassan Bolouri, The big problems of the universe: The non-existence of time
۱۱. حسن بلوری، 'مسائل بزرگ جهان هستی - عدم وجود زمان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۴
12. Pierre Speziali (Hrsg.): Albert Einstein – Michele Besso. Correspondance 1903-1955. Hermann, Paris 1972
13. Albert Einstein, Mein Weltbild, Herausg. Carl Seelig, Ulstein Verl., Frankfurt a. M., Berlin, Wien, 1979
14. Andrei Linde, Elementarteilchen und inflationärer Kosmos, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford 1993