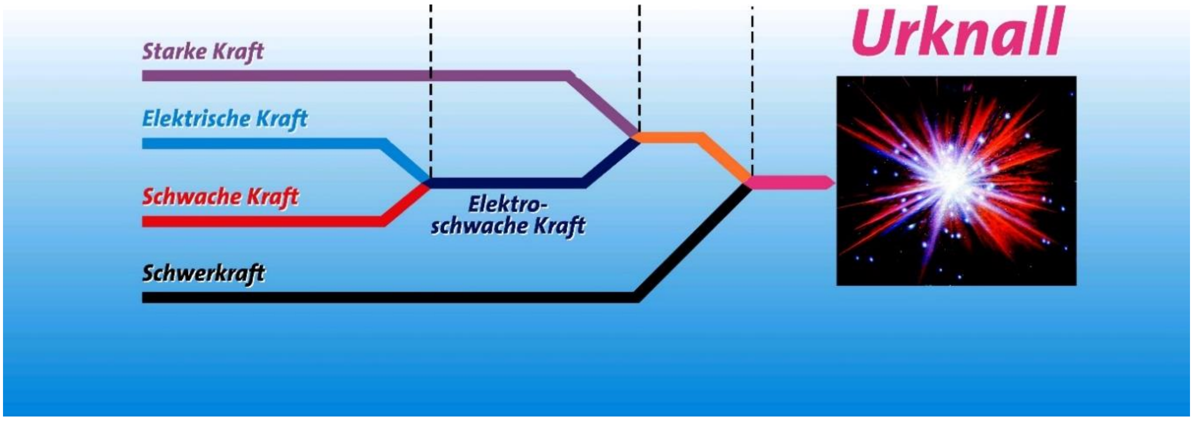
دکتر حسن بلوری

برلین، ۲۰۲۴/۰۶/۱۴

مسائلِ بزرگِ جهانِ هستی

لحظهِ آغازِ کیهان



The big problems of the universe: the moment the universe began[1]

توصیفِ بنیادیِ جهانِ هستی خواهانِ شناختِ کامل از منشاء و شرایط اولیه آن است. نظریه کیهان کوانتومی[۲] مدعیست که می‌تواند این خواست را فارغ از مسئله تکینگی[۳] و انفجار بزرگ[۴] برآورده کند.

فشرده

در حال حاضر اساس علمِ کیهان‌شناسي را نظریه نسبیت عام اینشتین[۵] که یک نظریه کلاسیک است تشکیل می‌دهد. اما این نظریه توسعه و تحولات کیهان را فقط تا مرز به اصطلاح انفجارِ بزرگ توضیح می‌دهد. یعنی، نظریه نسبیت عام هیچ اظهار نظری در باره‌ی حالت "پیش" از انفجار، لحظه انفجار، علت انفجار، شرایط و مراحل اولیه کیهان نمی‌کند. این وضع نشان از اعتبار نظریه نسبیت عام تا مقطع تکینگی[۳] (singularity)، در جایی‌که فضازمان به اصطلاح به "پایان" می‌رسد دارد. از این‌رو ناتوان از جمله در توصیف لحظه آغاز و شرایط اولیه کیهان[۶] است.

یافته‌های جدید علمی نشان می‌دهند که کل فیزیک از نظریه کوانتوم پیروی می‌کند. به‌همین خاطر در نیمه اول قرن بیستم ایده کوانتیزه کردن نظریه نسبیت عام مطرح شد. به این امید که بتوان از این طریق جنب ایجاد وحدت بین دو نظریه کوانتوم و نسبیت عام از لحظه آغاز و شرایط اولیه کیهان مطلع شد. اما این ایده هنوز با تمام تلاش‌هایی که برای انجام آن صورت گرفته عملی نشده است.

شناخته‌ترین راه‌حل‌های پیشنهاد شده برای کوانتیزه کردن نظریه نسبیت عام عبارتند از: ۱. اجرای روشی مشابه آنچه منجر به بنای نظریه مکانیک کوانتومی از طریق کوانتیزه کردن مفهوم‌های مکانیک کلاسیک گردید و ۲ نظریه ریسمان‌ها. روش دوم تاکنون ناکام در پیش‌برد ایده کوانتیزاسیون بوده است. روش اول توانسته است با ارائه نظریه گرانشِ کوانتومیِ حلقه‌ای[۷] (loop quantum gravity) تا حدودی به حل مسئله نزدیک شود بی‌آنکه به نتیجه مطلوب دست یابد.

دشواری ویژه در کوانتیزه کردن نظریه نسبیت عام در مقایسه با آنچه از بنای نظریه کوانتومی حاضر می‌شناسیم در آنست که فضازمان در نظریه نسبیت عام و در ایده کوانتیزاسیون یک پس‌زمینه محسوب نمی‌شود بلکه خود بخشی از آن است. به عبارت دیگر، فضازمان هم در نظریه ریسمان‌ها و هم در نظریه کوانتومی موجود حالت پس‌زمینه را دارد. در حالی‌که در نظریه کوانتومی نسبیت عام در شکل "اتم‌های فضازمان" نقش تعیین کننده دارد.[۶]

در این مقاله می‌کوشیم، پس از بحثی کوتاه در باره‌ی نظریه کوانتوم، نظریه همه‌چیز، فضازمان کوانتومی و کمیت‌های پلانک، به محدودیت‌های نظری ـ تجربی این عرصه پرداخته و در ادامه زمینه‌های کاربردی ایده‌ی کوانتیزاسیونِ نظریه نسبیت عام را در رابطه با کیهان کوانتومی توضیح دهیم.

کدام نظریه کوانتوم؟

نظریه نسبیتِ عام قادر به توضیح رخدادها در فضازمان‌های بشدت فشرده بر اثر تراکم بسیار بالای ماده و اشعه، برای مثال در سیاه‌چاله‌ها و یا در مقطع تکینگی نیست. از این‌رو در تلاش برای درک و توضیح این حالت‌ها از نظریه کوانتوم یاری جسته می‌شود. اما آیا نظریه کوانتومی حاضر می‌تواند در وضعیت کنونی‌اش یارای چنان امری باشد؟

در حال حاضر پاسخ قطعی به این پرسش را نداریم. چراکه از یک طرف نمی‌دانیم که آیا اصولن نظریه نسبیت عام به‌عنوان یک نظریه کلاسیکِ غیرخطی (non-linear) قابل کوانتیزه شدن هست یا خیر. از طرف دیگر ما می‌دانیم که نظریه کوانتومی موجود نظریه‌ای بر اساس نظریه نسبیت خاص (فضازمان مینکوسکی) و لذا خطی است. این نظریه اما با مشکلاتی مانند مسئله واگرایی‌ها (بی‌نهایت‌ها) روبروست. شاید بتوان این مسئله را با بحساب آوردن گرانش برطرف نمود. از این‌رو در اینجا این پرسش مطرح است که آیا می‌توان یکی از آن دو نظریه را در چارچوب ساختار دیگری فرمولبندی نمود؟ یا اینکه چنین امکانی وجود ندارد و می‌باید نظریه کوانتومی جامع‌تری را برای یافتن پاسخ به پرسش مطرح شده در آغاز مقاله، یعنی توضیح لحظه آغاز و شرایط اولیه کیهان فارغ از مسئله تکینگی و انفجار بزرگ، بنا نمود؟

ولفقانگ پاولی، فیزیکدان نظری برجسته اتریشی (۱۹۵۸-۱۹۰۰) و برندی جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۴۵ معتقد بود، در نظرگرفتن گرانش در نظریه کوانتومی حاضر می‌تواند مسئله واگرایی‌ها را برطرف نماید. چراکه پاولی این واگرایی‌ها را ناشی از فضازمان کوانتومی می‌دید.

نظریهٔ همه‌چیز؟

گفتیم، یافته‌های جدید علمی نشان می‌دهند که کل فیزیک پیرو نظریه کوانتوم است. اما پیرو چه نوع نظریه کوانتومی؟ نظریه کوانتومی حاضر در فضازمان مینکوفسکی، یعنی با پس‌زمینه‌ی نسبیت خاص، بنا شده است. در مقابل نظریه نسبیت عام فارغ از پس‌زمینه است. به این معنا که در اینجا فضازمان و ماده درهم‌تنیده هستند، یعنی فضازمان همپا با ماده در رخدادها شرکت دارد. به‌همین خاطر در صورت نبود امکان بیان یکی از این دو نظریه در چارچوب دیگری، نیاز به یک نظریه کوانتومی بنیادی‌تر است. در این رابطه گاهی از نظریه‌ای به نام ‘نظریهٔ همه‌چیز (theory of everything)‘ نام برده می‌شود. این نظریه مدعیست که توان آن دارد همه جنبه‌های مختلف جهان هستی و روابط میان آنها را به طور کامل توضیح دهد.

بیگمان یک چنان تصوری از ‘نظریهٔ همه‌چیز‘ یک آرزوی محالی بیش نیست. به این دلیل که انسان خود بخشی از سیستمِ جهانِ هستی است. و این بدان معناست که او خواسته و ناخواسته با کل سیستم درهم‌تنیده، است. در نتیجه نمی‌تواند جهان هستی را آن‌گونه که هست ملاحظه و تشریح کند (مراجعه شود به مقاله[۸] تحت عنوان ‘مفهوم همدوسی و ناهمدوسی‘).

فضازمان کوانتومی

نظریه نسبیت عام بیان از درهم‌تنیدگی ماده و فضازمان دارد. از این‌رو برای کوانیزه کردن آن از جمله نیاز به شناخت کاافی از ویژگی‌های فضازمان بر اساس نظریه کوانتوم است. اجرای چنین چیزی به‌معنای پرداختن به نظریه‌ای به نام نظریه گرانش کوانتومی[۹] است. دلایل زیادی برای بنای این نظریه و با آن نظریه کیهان کوانتومی وجود دارد از آنجمله لزوم توصیف لحظه آغاز و شرایط اولیه جهان هستی و با آن وحدت نیروهای پایه‌ای فیزیک. در نظریه کیهان کوانتومی تصور بر این است که فضازمان از ذراتی به نام "اتم‌های فضازمان" تشکیل شده است. ناگفته نماند که در حال حاضر ما نه تنها اطلاع دقیقی از این نظریه نداریم بلکه امکان راست‌آزمایی راه‌حل‌های پیسنهادی شده هم برایمان ناممکن است. به عبارت دیگر، اعتبار علم فیزیک کنونی در مرز منتهی به ‘فیزیک کیهان کوانتومی‘ به پایان می‌رسد.

در مدل یا فرضیه گرانش کوانتومی حلقه‌ای و اسپین فوم (quantum foam کفِ کوانتومی[۲]) سعی شده است، متریک فضازمان را با هولونوم‌ها و جریان‌ها (holonomies and flows) به‌عنوان متغیرهای متعارف (canonical variables) جایگزین شود.[۴] پاسخ‌های نظری بدست آمده از این طریق نشان از خطوط بسته (loop) در فضا دارند (تصویر۲).
در یک چنین حالتی نظریه نسبیت عام اعتبار خود را از دست می‌دهد و اصل عدم قطعیت دست بالا را 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 در نظریه گرانش کوانتومی وضعیتی مشابه آنچه کفِ کوانتومی یا کف فضازمان نامیده می‌شود بوجود می‌آید. در این‌صورت، فضا دیگر مانند آنچه از نظریه کوانتومی موجود می‌شناسیم پس‌زمینه برای رخدادها محسوب نمی‌شود. در این‌باره در مقاله[۱۱]

تصویر ۲: فضا در گرانش حلقه‌ای از سلول‌های یگانهِ کوچک یا "اتم‌های فضا" تشکیل شده است.[۱۰]

تحت عنوان ’توهَمِ فضا و زمان‘ می‌خوانیم:

"در نظریه گرانش کوانتومی حلقه‌ای، فضا پس‌زمینه‌ی رخدادها محسوب نمی‌شود بلکه ابژکتی دینامیکی است که از قوانین نظریه کوانتوم پیروی می‌کند. خروجی اصلی این نظریه، تصویری است از فضا که فرم ناپیوسته دارد، دانه دانه‌ای است. دانه دانه‌ای بودن فضا پیامد مستقیم کوانتایی‌سازی است، مشابه دانه‌ای بودن فوتون‌ها در نظریه کوانتومی الکترومغناطیسی و یا سطوح انرژی در اتم‌ها.[۱۲] یعنی، در گرانش کوانتومی حالت کوانتومی فضا توسط شبکه‌هائی از "دانه‌ها" یا "گره‌ها" توصیف می‌شود. به عبارت دیگر، هندسه‌ی آن در هر زمان توسط ساختارهای یک بُعدی، خطوطی که (با مضرب عدد صحیحی از ½، شبیه به اسپین در ذرات کوانتومی) بهم متصل هستند، تصور می‌شود. گره‌ها در این مدل با ویژگی‌هایی مشابهِ اسپینِ ذراتِ کوانتومی و در فاصله‌ی طول پلانک m $۱۰^{-۳۵}$• ۱،۶۱۶ از هم قرار دارند.[۱۳]

فضا و زمان را می‌توان در گرانش کوانتومی حلقه‌ای به قول ویلر[۱۴،۱۵] در شکلِ "کفِ کوانتومی" یا "کفِ فضازمان" تصور نمود. به این ترتیب فضازمان کلاسیک در شکل یک پدیده‌ی نوظهور وقتی حاصل می‌شود که امکان میانگین‌گیری از حباب‌های زیادی از "کف فضازمان" وجود داشته باشد. طول پلانک، با در نظرگرفتن سرعت نور، با یک حداقل از فواصل زمانی، زمان پلانک، رابطه دارد؛ زمانی که نور لازم دارد تا طول مربوطه را طی کند.[۱۶]

در صورت وجود زمان‌های کوتاه‌تر از زمان پلانک می‌توان طول‌های کوتاه‌تر از طول پلانک را تصور کرد. چنانچه صحت چنین چیزی نشان داده شود دیگر نیازی به بحث ’توهم فضا و زمان‘ نمی‌بود. چراکه در آن صورت می‌دانستیم که اعتبار مفهوم‌های فضا و زمان، به‌شکلی که می‌شناسیم، محدود به دایره‌ی عمل فیزیک کلاسیک می‌شود، یعنی مفهوم‌هایی تقریبی هستند. توضیحات ارائه شده نشان از واقعیت فضا و زمان در دنیای درهم‌تنیده‌ی کوانتومی (quantum entanglement) دارد. واقعیتی که بسیاری از زوایای آن برایمان ناروشن است."[۱۱]

کمیّت‌های فضازمان کوانتومی

می‌پرسیم: پدیده‌های گرانش کوانتومی در چه مقیاس‌هایی می‌توانند باشند؟ به عبارت دیگر، اثر قابل سنجشِ گرانش کوانتومی که لازمه‌ی طرح و بحث در باره‌ی کیهان کوانتومی است در چه مقیاسی است؟ به این پرسش شاید بشود چنین پاسخ داد: وقتی که "انحنای فضازمان" ایجاد شده توسط یک ابژکت کوانتومی مانند پروتون قابل اندازه‌گیری باشد.[۳] آیا چنین چیزی صحت دارد؟ در صورت صحت داشتن آیا امکان تجربه، اندازه‌گیری، آن نیز وجود دارد؟

یک ذره‌ی کوانتومی با جرم m را در نظر می‌گیریم. با یک محاسبه ساده با یاری طول موج ذره و شعاع شوانزشیلد[۱۷] به این نتیجه می‌رسیم که جرمِ پلانک m_p برابر است با حدود یک صدهزارم گرم. این مقدار جرم در واحدهای ذرات بنیادی مساوی است با ده به توان نوزده گیگا الکترون ولت! اندازه طولِ مربوطه به نام طولِ پلانک l_p برابر است با cm $۱۰^{-۳۳}$

و اندازه زمانِ پلانک t_p برابر است با sec $۱۰^{-۴۴}$. روشن است که اثبات "انحنای فضا" در این حوزه بسیار دشوار است.

برای آشکارسازی اندازه ههای پلانک (m_p , l_p , t_p) نیاز به شتابدهندههایی در ابعادی مانند کهکشان راه شیری است که قابل اجرا نیست. با این وجود شاید بتوان راههای غیرمستقیمی را برای راستآزمایی نظریه گرانش کوانتومی پیدا کرد.

محدودیت‌های نظری و تجربی

گفتیم، فیزیک کنونی اعتبار خود را در مقیاس پلانک از دست می‌دهد. به عبارت دیگر، در مقیاس پلانک فضازمان به‌معنای متعارف آن وجود ندارد. با این حال تردیدی نیست که برای شناخت کامل از جهان هستی نیاز به اطلاع کافی از کمیت‌های فیزیکی در مقیاس پلانک می‌باشد. البته هستند فیزیکدانانی که اصولن بحث در باره‌ی فیزیک در مقیاس پلانک را غیرواقع‌بینانه می‌دانند و آن را از اساس رد می‌کنند. با این استدلال که علم فیزیک، اثری کوچکتر از اثر یا ثابت پلانک h نمی‌شناسد و اگر هم چنین چیزی واقعیت داشته باشد امکان تجربه، اندازه‌گیری، آن وجود ندارد.

اثر پلانک یک ثابت طبیعی است که در کنش و واکنش‌های بنیادی نقش تعیین کننده دارد. برای مثال، انرژیِ E یک فوتون با یاری اثر پلانک قابل بیان و برابر است با ثابت پلانک h ضربدر بسامد f (فرکانس) فوتون، یعنی $E = h\ f$. اندازه اثر پلانک برابر است با $h = 6{,}62607015 \cdot 10^{-34}\ J\ s$. ($J$ ژول، واحد انرژی و s ثانیه، واحد زمان).

گفتیم، لازمه‌ی طرح و بحث در باره‌ی کیهان کوانتومی وجود اثر قابل سنجشِ گرانش کوانتومی است. اما این اثر در چه مقیاسی می‌تواند باشد؟ پاسخ ما به این پرسش چنین بود: وقتی‌که "انحنای فضازمان" ایجاد شده توسط ذرات کوانتومی قابل اندازه‌گیری باشد. اما به تجربه درآوردن همین مطلب، حداقل در حال حاضر، به‌خاطر انحنای بسیار کم آن ناممکن می‌نماید.

روشن است، نظریه‌ای که بر پایه‌ی واقعیت‌ها، داده‌های عینی و تجربه بنا نشده باشد نمی‌تواند مورد استناد قرارگیرد. نظریه بیگ بنگ.یکی از این موارد است. با این حال آنچه ما را به ایده انفجاز بزرگ و با آن به کیهان کوانتومی متمایل می‌کند شواهد تجربی تایید شده‌ای هستند مانند: ۱. انبساط کیهان، ۲. نواسانات دما در تشعشعات تابش پس‌زمینه‌ی کیهانی، به‌ویژه در محدوده‌ی مایکروویو و ۳. فراوانی نسبی عناصر سبک در کیهان مانند هیدروزن و هلیوم.

در حال حاضر ما شناختی درست از فیزیک در ابعاد پلانک نداریم. شاید ارائه یک نظریه کوانتومی توسعه یافته‌تری از نظریه کوانتومی حاضر به‌ویژه فارغ از پس‌زمینه فضازمان امکان چنان شناختی را حداقل به‌طور نظری بوجود آورد. اما اینکه آیا امکان راست‌آزمایی و تجربه، اندازه‌گیری، آن نیز امکان‌پذیر خواهد بود مسئله دیگری است.

پیش‌تر گفتیم، برای آشکارسازی اندازه ههای پلانک نیاز به شتابدهنده‌هایی در ابعاد کهکشان‌ها است. و اضافه کردیم که چنین چیزی قابل اجرا نیست. با این همه می‌توان امیدوار بود راه‌حل‌های دیگری را برای راست‌آزمایی دستاوردهای نظری شناسایی کنیم. برای مثال، شاید بتوان با یک نظریه کوانتومی فارغ از پس‌زمینه فضازمان در ابعاد پلانک و ملاحظه ویژگی‌های خلاء کوانتومی[۱۸] لحظه آغاز جهان هستی و شرایط اولیه آن را توضیح داد.

زمینه‌های کاربردی

گرچه ما هنوز علم فیزیک در ابعاد پلانک را نمی‌شناسیم، اما با مفاهیم و مسائل اساسی آن تا حدود زیادی آشنایی داریم و برایمان شناخته شده هستند. به‌همین خاطر می‌توانیم از دستاوردهای موجود هم برای درک بهتر مسائل نظریه کوانتوم و توسعه آن استفاده کنیم و هم در توضیح مسائلی برای مثال در رابطه با سیاه‌چاله‌ها، تکینگی و کیهان‌شناسی کوانتومی بهره بجوئیم.

برآوردها از راه‌حل‌های پیشنهاد شده برای کوانتیزه کردن نظریه نسبیت عام ۱. نشان از ناپیوسته بودن فضازمان در ابعاد کوانتومی دارند.[۱۳و۱۵] ۲. طبق نظریه استیون هاوکینگ و توضیحات مقالات[۱۱و۱۷] سیاه‌چاله‌ها در طول زمان با تابش اشعه گرمایی، مدام داغ‌تر و در نتیجه جرمشان کوچک‌تر شده و در نهایت با گذشت زمان نزدیک به جرم پلانک m_p می‌شوند. مرحله نهایی تبخیر سیاه‌چاله‌ها اما تنها توسط گرانش کوانتومی قابل پیش‌بینی و توضیح است.[۳] ۳. فرضیه تورم کیهان از جمله برای توضیح همگنی و همسانگردی بخش قابل رؤیت کیهان از جانب آلن گوت، فیزیکدان انگلیسی (ـ ۱۹۴۷) ارائه شد. به‌نظر مدل یا نظریه تورم، شناخت از منشاء کیهان در مقیاس بزرگ را امکان‌پذیر می‌نماید. مشاهدات ناهمسانگردی در طیف تابش پس‌زمینه کیهانی نشان از نواسانات کوانتومی در مراحل آغازین جهان هستی و نواسانات متریک مرتبط با گرانش کوانتومی دارد. در هر سه مورد، گرانش کوانتومی و با آن کیهان کوانتومی نقش تعیین کننده، به‌ویژه در لحظه آغاز جهان هستی دارد (تصویر ۱).[۲و۷]

مراجع

1. https://www.desy.de/f/reports/unification/

2. Hassan Bolouri, Quantum cosmology

۲. حسن بلوری، ’کیهان‌شناسی کوانتومی ـ منشاء هستی‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۳

3. https://www.spektrum.de/lexikon/physik/quantengravitation/11859

4. Hassan Bolouri. Big Bang

۴. حسن باوری، مهبانگ و پیدایش کیهان، ’منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳

5. Albert Einstein, Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie, in: Das relativitäts- prinzip, Teubner Verlag, 8. Auflage, Stuttgart 1982

6. Hassan Bolouri, Classical cosmology

۶. حسن بلوری، ’کیهان شناسی کلاسیک‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۳

7. Hassan Bolouri, Quantum gravity

۷. حسن بلوری، ’گرانشِ کوانتومی‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۳

8. Hassan Bolouri, The Concept of Coherence and Decoherence

۸. حسن بلوری. ’مفهوم همدوسی و ناهمدوسی‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه دتسامبر سال ۲۰۲۰

9. Claus Kiefer, Der Quantenkosmos, S. Fischer Verlag, Frankfurt, a. M., 2. Auflage, 2008

10. https://www.mpg.de/7513652/quantengravitation_urknall

11. Hassan Bolouri, The illusion of space and time

۱۱. حسن بلوری، ’توهّمِ فضا و زمان‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه نوامبر سال ۲۰۲۱

12. John Helm: „Die Aussage ‚Zeit verschwindet‘ bedeutet, dass der Pfeil der Zeit im Quantenschaum verschwindet, was bereits in der QM im Mikro-Bereich (d.h. innerhalb der QM–Zeit-Unsicherheit) gilt.“, Privat zu Verfügung gestellt von meinem Kollegen am 11.11.2021

13. Hassan Bolouri, The Quanta of Space and Time

۱۳. حسن بلوری، ’کوانتای فضا و زمان‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه آوریلِ سال ۲۰۲۱

14. Hassan Bolouri, Crucial causality

۱۴. حسن بلوری، علیتِ سرنوشت‌ساز، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئنِ سال ۲۰۲۱

15. Hassan Bolouri, The day without yesterday, graininess of the space and time, string theory

۱۵. حسن بلوری، ’روزِ بدونِ دیروز‘ ـ دانه دانه بودن فضا و زمان، نظریه ریسمان‌ها ـ منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه جولای سال ۲۰۲۱

16. http://www.joergresag.privat.t-online.de/mybk5htm/chap2.htm#raum9

17. Hassan Bolouri, Is the universe a black hole?

۱۷. حسن بلوری، ’آیا کیهان یک سیاه‌چاله است؟‘، منتشر شده در سایت های پارسی زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۳

18. Hassan Bolouri, Vacuum and its structure – a discussion about “Nothing”.

۱۸. حسن بلوری، ’خلاء و ساختار آن ـ بحثی در بارۀ "هیچ"‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه آوریل سال ۲۰۲۳