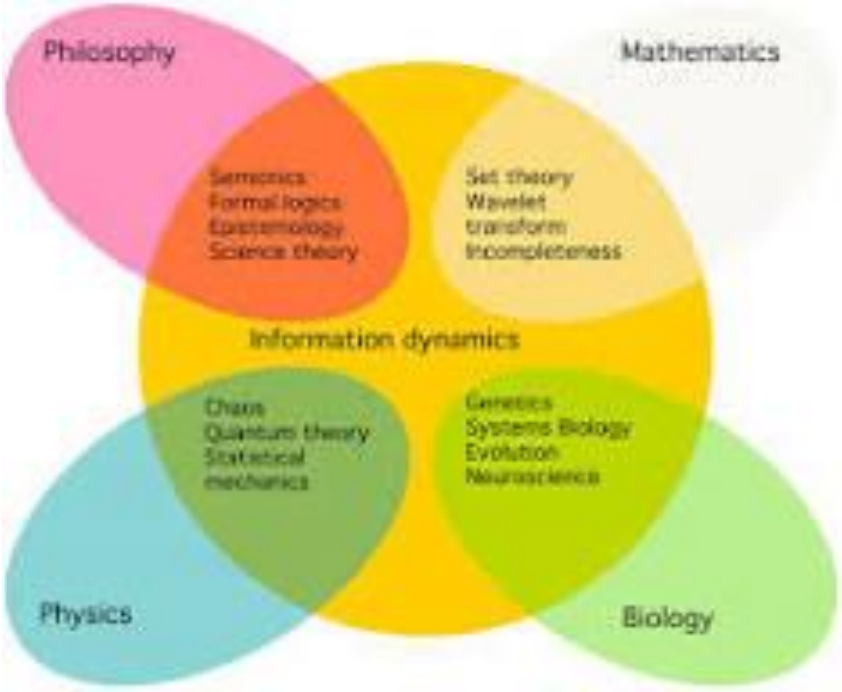
دکتر حسن بلوری

برلین، ۲۰۲۴/۰۲/۱۶

مفهوم اطلاعات

مفهوم اطلاعات در فیزیک



The concept of information

The concept of information in physics

Information dynamics overlaps significantly with the neighbouring sciences, mathematics, physics, and biology, as well with humanities such as philosophy and hermeneutics, and of course with computer science and other branches of engineering.[1]

هیچ انفورماسیونی بدون نمایش فیزیکی نمی‌تواند وجود داشته باشد. اطلاعات همواره از قوانین فیزیکی پیروی می‌کند و برای انتقال به ماده ـ انرژی نیاز دارد. این یک واقعیت بدون استثنا است.[۲] اما پرسش اساسی در باره مفهوم اطلاعات چیستی آن است. به این معنا که آیا اطلاعات ماهیت فیزیکی دارد؟ آیا این ماهیت است که باعث تغییر یا ایجاد حالت جدید در یک سیستم می‌شود؟

فشرده

اطلاعات یا انفورماسیون یکی از رایج‌ترین واژه‌هاست که در بخش‌های مختلفِ علوم طبیعی، فنی، ریاضیات، انفورماتیک، علوم اجتماعی و دانش فلسفه بکارگرفته می‌شود. با این حال تاکنون هیچ تعریف مشخص و یکتایی از آن ارائه نشده است. آیا این وضع نشان نمی‌دهد که ما هنوز به ماهیت واقعی (چیستی) اطلاعات پی‌نبرده‌ایم یا به درک مشترکی از آن دست نیافته‌ایم؟ در یک چنین وضعیتی طبیعی است که هر یک از علوم بنابر نیازشان، درک و تعریف ویژه خود را از 'مفهوم' اطلاعات داشته باشند.

به نظر لازمه‌ی تعریف مشخص و یکتا از مفهوم اطلاعات وجود و تعیین یک کمیت جهانشمول طبیعی و کوچکترین واحد آن است که اطلاعات با آن ساخته و پرداخته می‌شود مانند انفون Infon برگرفته از مفهوم **انفور**ماسیون، چیزی مشابه واژه‌ی فوتون کوچکترین واحد نور و یا آنگونه که کارل فریدریش فون واتزسکر[۳] می‌گفت کوچکترین واحد ابژکتی به نام Ur-object یا "اتم اطلاعاتی".

در این مقاله تلاش می‌کنم مفهوم اطلاعات را در بنیادی‌ترین سطح علوم طبیعی، فیزیک کوانتومی، بررسی کرده و توضیح دهم که آیا اصولن امکان تعیین و تعریف مشخص و یکتایی از آن وجود دارد؟ به این امید که توضیحات ارائه شده در ارزیابی و تعریف مفهوم اطلاعات در سایر علوم مانند زیست‌شناسی، انفورماتیک، علوم فنی، علوم اجتماعی و دانش فلسفه مورد توجه قرارگیرد.

پیشگفتار

در ابتدای سخنرانی ۲۰۲۱/۱۱/۰۳ با عنوان 'انفورماسیون و واقعیت' در انجمن فیزیک آلمان در برلین نقل قولی را از مقاله‌ی همکارم (پروفسور دکتر ر. گرمر، استاد دانشگاه) تحت عنوان "در باره‌ی اطلاعات به‌عنوان حد دانش فیزیکی"[۴] بیان کردم. که مایلم آن را به‌خاطر اهمیت‌اش در اینجا نیز ذکر کنم. گرمر می‌نویسد:

"نتایج اندازه‌گیری‌ها و محاسبات فیزیکی حاوی اطلاعات است. اطلاعات در مثال‌های اندازه‌گیری جریان الکتریکی و آزمایش دوشکاف به‌صورت یک رابطه بین کوانت‌ها (ذرات کوانتومی) ظاهر می‌شود. در مورد جریان الکتریکی این روابط ماهیت زمانی و در مورد آزمایش دوشکاف ماهیت مکانی دارند. از روابط بین ابژکت‌ها که هر کدام فقط حاوی ۱بیت اطلاعات هستند می‌توان ساختار گیتی را تحقیق‌پذیر کرد. فرض این است که هر کوانتی فقط می‌تواند ۱بیت اطلاعات را انتقال دهد. با این حال، خود اطلاعات در روابط بین کوانت‌ها وجود دارد و تعداد این روابط به‌طور قابل توجهی بیشتر از تعداد کوانت‌ها به تنهایی است. این بدان معناست که کانال‌های اطلاعاتی‌ای وجود دارند که می‌توان از بین آنها یکی را انتخاب کرد و این تاثیر آزمایشگر است (البته نه به‌خواست آزمایشگر، ح. ب.). از تعداد کوانت‌ها و امکان انتخاب اطلاعات، نه تنها دقت نتیجه در توضیحات بلکه همچنین مرز تعریف دنیای ما حاصل می‌شود."[۴]

در همان نشست از همکارم (پروفسور دکتر گ. فون اُپن، استاد دانشگاه) خواهش کردم که در نشست بعدی به موضوع "محدودیت‌های علم فیزیک" بپردازد. او پیش از جلسه سخنرانی خود در باره‌ی موضوع پیشنهاد شده نوشته‌ای را آماده و برای مطالعه ارسال نمود. در زیر نکات چندی از آن را که با موضوع مقاله‌ی پیش رو رابطه دارد می‌آورم:

"... دستگاه‌های اندازه‌گیری در مفهوم دینامیک کوانتومی نمی‌گنجند. ... 'هیچ تفسیری از مکانیک کوانتومی که نقص جدی نداشته باشد وجود ندارد (استیون هاکینگ)'. ... نبودِ قطعیت در اندازه‌گیری‌ها تعیین کننده است. ... نظریه فیزیکی محدودیت‌هایی دارد. ... دستگاه‌های اندازه‌گیری را می‌توان تا یک تقریب قابل قبول، کلاسیک توصیف کرد. ... فقط اشیایی که به خوبی قابل رصد هستند ساختار فضایی دارند. ... ابژکت‌های کوانتومی که به اندازه‌ی کافی جدا از محیط باشند، از یک ساختار طیفی (سطوح انرژی گسسته) برخوردار هستند. ... آزمایش‌ها را نمی‌توان تحت شرایط آزمایشِ دقیقِ کنترل شده انجام داد. ... واقعیت تجربیِ تجربه شده در ناحیه میانی قرار دارد، جایی که فیزیک محدودیت‌هایی دارد."[۵]

لازم به تاکید است که یک سیستم فیزیکی همواره و فقط در کنش و واکنش با یک سیستم فیزیکی دیگر ظاهر و قابل توصیف می‌شود. یعنی، کسب اطلاع از حالتِ یک سیستم فیزیکی بدون همکنشی با یک سیستم فیزیکی دیگر غیرممکن است. آیا یک جنین همکنشی بدون تبادل یک کمیت مادی جهانشمول بین دو سیستم امکان‌پذیر است؟ پرسشی که در اصل خواهان روشن شدن ماهیت مفهوم اطلاعات، مفهومی که در مرکز همه علوم قرار دارد، در بنیادی‌ترین سطح ممکن است.

طیف وسیع استفاده از مفهوم اطلاعات

"مفهوم اطلاعات در زمینه‌های مختلف ظاهر می‌شود، برای مثال در ترمودینامیک (به‌عنوان تفسیری از آنتروپی)، در نظریه کوانتوم (مربوط به مشکلات فرایند اندازه‌گیری)، در نظریه فرگشت و ژنتیک (در شکل دی ان ای به‌عنوان اطلاعات بیولوژیکی) و در علوم ادراکی. مفهوم اطلاعات در رابطه با پژوهش هوش مصنوعی (درست آنست که از مفهوم 'ماشین هوشمند' بجای 'هوش مصنوعی' استفاده کنیم؛ ح. ب.) در دهه هفتاد (قرن بیستم) منجر به توسعه سریع یک حوزه کاری خاص، انفورماتیک، گشت و در علوم جدید اعصاب با پردازش اطلاعات عصبی شناسایی می‌شود. در زبان‌شناسی جنبه‌های آن به‌عنوان اطلاعات نحوی، معنایی و عملی بررسی می‌شود. در عصر اطلاعات مدرن، اطلاعات می‌تواند (برای مثال به‌عنوان یک کالا) حتا به یک عامل اجتماعی تعیین کننده برای سیاست و اقتصاد تبدیل شود. در این طیف وسیع استفاده از مفهوم اطلاعات توجیه ساختار فیزیکی بر مفهوم اطلاعات از نظر روش‌شناسی در درجه اول اهمیت قرار دارد."[۶] ما در این مقاله بر جنبه‌ی فیزیکی مفهوم اطلاعات، یعنی چیستی و تاثیر یا عملکرد آن، تاکید داریم.

پیش از آنکه به مطلب خود بپردازیم لازم است به این بیان آلبرت اینشتین در رابطه با 'مفهوم‌ها و 'دستگاه‌های مفهومی' توجه کنیم:

"مفهوم‌ها و دستگاه‌های مفهومی تنها زمانی محق‌اند که بیان جامعی از رویدادها باشند؛ مشروعیت دیگری برای آنها وجود ندارد. بدین خاطر معتقدم یکی از بدترین کار فیلسوفان آن بوده که مفهوم‌هائی اساسی از علوم طبیعی را که به لحاظ تجربی قابل کنترل هستند به جایگاهی غیرقابل دسترسی (آپریوری) رسانده‌اند."[۷]

مفهوم آنتروپی در ترمودینامیک

در مقاله[۸] ’آیا کیهان یک هولوگرام است؟‘[۸] در باره‌ی مفهوم آنتروپی می‌خوانیم:

" آنتروپی یکی از اساسی‌ترین مقوله‌های علم جدید است که در رشته‌های مختلف با معناهای متفاوت بکارگرفته می‌شود، برای مثال در فیزیک و در ریاضیات (انفورماتیک). آنتروپی در فیزیک به یک متغیر اساسیِ حالتِ ترمودینامیکی یک سیستمِ ماکروسکوپی و در ریاضیات (انفورماتیک، نظریه اطلاعات) به‌عنوان معیاری برای سنجشِ تراکمِ اطلاعات (آنترپی شانون) گفته می‌شود."[۸]

ما در این مقاله مفهوم آنتروپی را در علم فیزیک (ترمودینامیک) درنظر داریم که در مقاله[۸] در باره آن چنین توضیح داده شده است:

" آنترپی در فیزیک (آماری) به زبان ساده ولیکن نه چندان دقیق بیان از اندازه‌ی بی‌نظمی در یک سیستمِ (متشکل از ذرات) دارد. به عبارت دیگر، آنتروپی در فیزیک تعداد حالت‌های مختلف ذرات یک سیستم را، بی‌آنکه چیزی در حالت اولیه سیستم تغییر کند، مدنظر دارد. بدین ترتیب طبیعیست که با ازدیاد تعداد ذرات، سرعت و امکان آرایش بیشتر برای آنها، آنتروپی سیستم نیز افزایش یابد. یک مثال ساده: یک کتاب را به‌عنوان یک سیستم و برگ‌های کتاب را به‌عنوان ذرات سیستم در نظر می‌گیریم. تا زمانی که کتاب در وضعیت جلد شده (مجلد) است تنها یک حالت وجود دارد. حالتی که در آن کتاب از صفحه ۱ تا صفحه آخر آراسته (مدون) شده است. اما چنانچه صفحات کتاب را از وضعیت مجلد بودن درآورده و آنها را به هر ترتیب دلخواهی رویهم تلنبار کنیم، در این‌صورت حالت‌های بسیار زیادی را می‌توان برای آرایش صفحات کتاب تصور کرد. این به‌معنای آنست که کتاب در حالت مجلد دارای آنتروپی کم و در حالت دوم (آرایش مختلف صفحات) دارای آنتروپی بیشتر است."[۸] یعنی، نظم بیشتر به‌معنای آنتروپی کمتر یا اطلاعات بیشتر است و بعکس.

مفهوم اطلاعات در فیزیک کلاسیک

از مفهوم آنتروپی در بخش‌های مختلف فیزیک به‌ویژه در ترمودینامیک بسیار بهره جسته می‌شود. آنتروپی مفهومی است ماکروسکوپی از حالتِ ترمودینامیکیِ یک سیستم فیزیکی ماکروسکوپی. آنتروپی یک کمیت قابل اندازه‌گیری است. آنتروپی جهت یک فرایند حرارتی را نشان می‌دهد. آنتروپیِ یک سیستم در هر فرایند ماکروسکوپی که به‌طور خودجوش رخ می‌دهد افزایش می‌یابد. آنتروپی یک سیستم را نمی‌توان با اضافه کردن گرما و ماده کاهش داد. کاهش آنتروپی یک سیستم فیزیکی تنها توسط واسپاری گرما یا ماده از داخل سیستم به بیرون امکان‌پذیر است. به‌همین دلیل آنتروپیِ یک سیستم بسته (سیستم ایده‌آلی که تبادل انرژی یا ماده با محیط ندارد) نمی‌تواند کاهش یابد بلکه بعکس آنتروپی آن در طول زمان یا افزایش می‌یابد و یا زمانی که به ماکسیموم رسید ثابت می‌ماند (قانون یا اصل دوم ترمودینامیک)."[۸]

آنتروپی در انفورماتیک به تعداد ببت‌های (Bits، آری ـ نه) موجود برای مثال در یک عبارت خبری گفته می‌شود و نه به محتوای خبر مربوطه. در مقاله[۹] تحت عنوان ’مرزهای ادراک حسی در شناخت بی‌واسطه‘[۹] در این‌باره می‌خوانیم:

"آنچه امروزه تحت مقوله‌ی انفورماسیون، برای مثال در تکنیک رایانه‌ها، مطرح است تعریفی است برگرفته از تکنیک مخابرات که کلود شانون Claude Shannon، ریاضی‌دان و مهندس آمریکائی (۲۰۰۱ ـ ۱۹۱۶)، در مقاله‌ای در سال ۱۹۴۸ منتشر کرد.[۱۰] شانون در اصل جنبه‌ی احتمالاتی علائم در یک کُد (Code) را که نمائی از انفورماسیون است بررسی کرد (تعریف ریاضی برمبنای گزاره‌های احتمالاتی آندری ن. کولموگوروف، ریاضیدان روسی ۱۹۸۷ـ۱۹۰۳)."[۹]
شانون در سال ۱۹۵۳ می‌نویسد:
"به سختی می‌توان انتظار داشت که یک مفهوم واحد از اطلاعات می‌تواند به‌طور رضایت‌بخشی بسیاری از کاربردهای احتمالی این زمینه عمومی را توضیح دهد."[۱۰]

در واقع شانون آنتروپی را محتوای اطلاعاتی در نظریه اطلاعات فرمال می‌داند. این برداشت اکنون متداول‌ترین معیار سنجش در حوزه اطلاعات است. مفهوم آنتروپی و ترمودینامیک آماری در سال‌های ۱۸۶۶، ۱۸۷۲ و ۱۸۷۷ از جانب لودویگ بولتسمان (۱۹۰۶ـ۱۸۴۴) فیزیکدان اتریشی معرفی شد. بولتسمان آنتروپی را با تعداد حالات میکروسکوپی مختلف که ذراتِ بخشی از ماده می‌توانند بدون تغییر خواص آن اشغال کنند معرفی کرد (مثال صفحات یک کتاب).

قوانین ترمودینامیک مدت زمان طولانی به‌خاطر باور به ماده به‌عنوان کمیتی پیوستار فقط به‌عنوان واقعیت‌های تجربی

پذیرفته می‌شدند، یعنی قابل استدلال به‌نظر نمی‌رسیدند. اما بولتسمان با باور به ناپیوسته بودن ماده در شکل اتم‌ها و ملکول‌ها توانست ترمودینامیک را در حوزه مکانیکِ "ذرات" بررسی و مستدل کند. برای مثال کلِ انرژی یک گاز برابر است با جمع انرژی‌های ذرات آن و دمای گاز برابر است با میانگین انرژی ذرات و هرچه این انرژی بزرگتر باشد به‌همان میزان نیز دمای گاز بالاتر است. در همین رابطه بود که برای اولین‌بار بحث احتمالات در مرکز پژوهش‌های فیزیک قرارگرفت، یعنی حدود نیم قرن پیش از نظریه کوانتوم که اصولن بر مبنای احتمالات بنا شده است.
در واقع آنتروپی چیزی نیست جز یک اندازه معین برای احتمال یک حالت. بدین ترتیب تفسیر ماکروسکوپیِ آنتروپی با احتمال یک حالت ارتباط دارد و در انفورماتیک با تعداد بیت‌ها تعریف می‌شود. تعریفی که بیان از یک رابطه نزدیک بین آنتروپی و اطلاعات دارد.
"برای اینکه اطلاعات برای انسان قابل تشخیص باشد، لازم است که ماده یا انرژی ساختاری داشته باشد."[۱۱] اما این مطلب ما را با دو مسئله مواجه می‌کند: ۱. مسئله حامل اطلاعات، به این معنا که چه ساختاری را می‌توان برای حامل تعیین کرد و ۲. مسئله درک معنای آنچه از حامل اطلاعات استنتاج می‌شود است. مسئله اول ریشه در فناوری ارتباطات و مسئله دوم در علوم شناختی، زبان‌شناسی یا به‌طور کلی در علوم انسانی (علوم اجتماعی) دارد.[۱۲]

"سیستمی که از نظر ساختاری قابل تشخیص است (به‌عنوان مثال تکانه‌های، پالس‌های، نور Light pulses که به ترتیب زمانی به تک تک سلول‌های شبیکه می‌خورند) باید از طریق یک فرایند رمزگشایی پیچیده به معنا ترجمه شود. اینجاست که اطلاعات ساختاری خالص به پایان می‌رسد و شروع به تبدیل شدن به اطلاعات معنادار می‌کند، جایی که در این فرایند رمزگشایی لازم است که مرز آگاهی مشخص شود. این یکی از پرسش‌های جالب در علوم اطلاعاتی و شناختی است. از نظر نحو، اطلاعات با احتمال وقوع یک نماد خاص در یک طرح رمزگشایی تعریف شده مطابقت دارد. اطلاعات در مدل ارتباطی، توالی فضایی یا زمانی سیگنال‌های فیزیکی است که با احتمالات یا بسامدهای (فرکانس‌های) خاص رخ می‌دهد. محتوای اطلاعات یک پیام از تعداد گزینه‌های آری ـ نه ناشی می‌شود."[۱۲]

مفهوم آنتروپی در فیزیک کوانتومی

آنتروپی را در فیزیک کلاسیک (ترمودینامک) "توسط ذرات هویت‌دار و قابل شمارش، اتم‌ها و ملکول‌ها، تعریف کردیم. اما از آنجا که در نظریه کوانتوم ذرات به‌معنای کلاسیک وجود ندارد و این نظریه فقط توابع و احتمالات موج را می‌شناسد، این پرسش مطرح است که شمارش در اینجا چه معنایی می‌تواند داشته باشد؟

ذرات در نظریه میدان کوانتومی به‌عنوان میدان‌های کوانتومی تفسیر می‌شوند که از حالت‌های ارتعاشات مستقل تشکیل شده‌اند. در واقع هر طول موج می‌تواند بین صفر و بی‌نهایت باشد. جعبه‌ای با دیوارهای بازتابنده را در نظر بگیریم که در آن تنها ارتعاشاتی به وقوع می‌پیوندند که گره‌ای روی دیوارها دارند. بنابراین می‌توان ارتعاشات در جعبه را از طریق شمردن تعداد گره‌ها و گره‌ها روی دیوارها تعیین کرد. نظریه کوانتوم می‌گوید، این ارتعاشات فقط می‌توانند مقادیر انرژی گسسته‌ای را که تنها ضریبی از یک کوانتوم انرژی هستند دارا باشند. گرچه در واقع هیچ ذره‌ای وجود ندارد اما این کوانتیزاسیونِ انرژی تعدادی از ذرات قابل شمارش را به ما تلقین می‌کند."[۱۳]

در مقاله[۱۳] تحت عنوان 'گرانش آنتروپیک' می‌خوانیم:

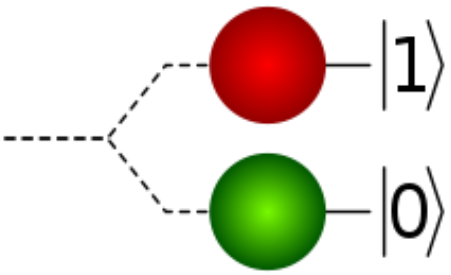
"جان فون نویمان ریاضیدان مجاری ـ آمریکایی (۱۹۵۷ـ۱۹۰۳) نشان داد که چگونه می‌توان آنتروپی یک سیستم کوانتومی را محاسبه کرد. شیوه‌ای که او در این باره بکارگرفت تا حدودی مشابه روشی بود که پیش‌تر در نیمه اول قرن بیستم فیزیکدان‌ها برای بنای نظریه کوانتوم انجام داده بودند، یعنی بهره‌جویی از مفهوم‌های فیزیک کلاسیک و تعبیر و تفسیر آنها در فیزیک جدید. به عبارت دیگر، فون نویمان توانست با استفاده از مفهومِ کلاسیک درونمایه‌ی یک مطلب (یک خبر) (Information content) که کلود شانون (Claud Elwood Shannon) مهندس الکترونیک و رمزنگار آمریکایی (۲۰۰۱ـ۱۹۱۶) آن را در مقاله‌ای از سال ۱۹۴۸ توصیف کرده بود، 'آنتروپی یک سیستم کوانتومی' را محاسبه کند. به عبارت دیگر، فون نویمان مفهوم کلاسیک (فرمول شانون) را در فرمالیسم کوانتومی بکارمی‌گیرد و از این طریق به (فرمول) 'آنتروپی سیستم‌های کوانتومی' دست می‌یابد.[۱۵] "[۱۴]

بیت، بایت و کیوبیت

در حوزه‌ی انفورماسیون دو کمیت، انبار اطلاعات و جریان اطلاعات مهم هستند. واحد این کمیت‌ها بیت (Bit) و بایت (Byte) نامیده می‌شوند. انفورماسیون کوانتومی از آنِ سیستم‌های کوانتومی و غیرقابل توضیح با قوانین نظریه‌ی اطلاعات

کلاسیک است، یعنی در اینجا قوانین فیزیک کوانتومی حاکم است.

نظریه‌ی انفورماسیون کوانتومی امکانات بسیار وسیع‌تر و چشم‌گیرتری را در اختیار ما قرار می‌دهد. امکاناتی که از خصلت ذرات و درهم‌تنیدگی آن‌ها حاصل می‌شوند. از کاربردهای انفورماسیون کوانتومی می‌توان برای مثال به یارانه‌های کوانتومی ویا به امکان تبادل اطلاعات میان فرستنده و گیرنده بدون امکان دسترسی شخص ثالث به آن اشاره کرد (Quantum entanglement). اطلاعات کوانتومی اکنون یکی از جالب‌ترین زمینه‌های کار در فیزیک مدرن است. ساده‌ترین سیستم کوانتومی دارای دو حالت (عمود برهم) است. اندازه‌گیری بر روی یک چنین سیستمی می‌تواند به دو نتیجه‌ی متفاوت به نام کیوبیت یا بیت کوانتومی (quantum bit ,qubitt) بیانجامد (تصویر ۲).



تصویر ۲: تعریف عام یک کیوبیت به‌عنوان یک حالت کوانتومی از یک سیستم کوانتومی دوسطحی[۱۶]

کیوبیت به‌عنوان واحد پایه‌ای پردازش کوانتومی و رمزنگاری کوانتومی در نظریه‌ی انفورماسیونِ کوانتومی همان نقشی را بازی می‌کند که بیت در نظریه‌ی انفورماسیون کلاسیک داراست. با این تفاوت که بیت به اصطلاح یک بعدی، خطی، است. یعنی انتخاب (جایگزینی) تنها میان آری و نه امکان‌پذیر است. اما کیوبیت به دلیل آنکه سه‌بعدی است امکانات بمراتب بیش‌تری را در اختیار ما قرار می‌دهد.

برای مثال، فوتون (ذره‌ی میدان الکترومغناطیسم) را در نظر می‌گیریم. این ذره می‌تواند در حالت‌های گردش دایره‌ای به چپ یا راست، افقی یا عمودی، قطبش ۴۵ درجه‌ای مثبت یا قطبش ۴۵ درجه‌ای منفی و همچنین در حالت‌های تداخلی باشد. یعنی، بیان حالت دقیق فوتون نیازمند بیت‌های بسیار زیاد است. از این‌رو انفورماسیون کوانتومی از امکانات و توان خیلی بالاتری نسبت به انفورماسیون کلاسیک برخوردار است.[۱۷]

Ur-object یا "اتم‌های اطلاعاتی"

در دهه شصت قرن گذشته کارل فریدریش فون وایتزسکر، فیزیکدان و فیلسوف آلمانی (۲۰۰۷-۱۹۱۲)، سعی در ایجاد یک رابطه بین نظریه کوانتوم، بیت‌های کوانتومی (کیوبیت‌ها)، و فضازمان در شکل نظریه کوانتومی "اتم‌های اطلاعاتی" و یا آنگونه که او می‌گفت Ur-Alternativen یا Ur-Theorie داشت. با این هدف که توصیفی یکپارچه از طبیعت تنها بر اساس نظریه کوانتومی (محاسبه کنش و واکنش‌های Urs) ارائه دهد. "توصیفی که به‌عنوان یک نظریه اطلاعات در زمان درک می‌شود.

Ur به‌معنای 'زیرابژگت (Subobject)' کوچکترین جزء قابل تصور، انتخاب بین آری ـ نه، است که البته در نظریه کوانتوم همانگونه که گفتیم کیوبیت تنها به این یک حالت محدود نمی‌شود.

"نظریه وایتزسکر به دلیل ماهیت انتزاعی مفاهیم و مشکلات ریاضی ناشی از آن هنوز به یک نظریه کامل فیزیکی تدیل نشده است."[۱۸] با این حال هسته‌ی اصلی ایده‌ی وایتزسکر، اطلاعات به‌عنوان یک کمیت جهانشمول با یک واحد بنیادی نشان داده شود در دهه‌های گذشته پی‌گیری شده و اکنون یکی از مسائل مهم پایه‌ای در علم فیزیک و چالش‌برانگیز در دانش فلسفه محسوب می‌شود.

یکی از اولین کسانی که ایده‌ی وایتزسکر را دنبال کرد فیزیکدان اسرائیلی ـ آمریکایی متولد مکزیک یاکوب دیوید بکنشتاین (۲۰۱۵-۱۹۴۷) بود. او توانست از طریق فرمولی که در سال ۱۹۷۳ ارائه نمود محتوای اطلاعاتی یک ذره پروتون را محاسبه کند ($۱۰^{۴۰}$بیت!!). بکنشتاین برای این منظور از تعریف کمیت آنتروپی برابر با اطلاعات بهره‌جست.

نظریه کوانتومیِ Ur-objects و مفهوم اطلاعات

"در نظریه کوانتومی وایتزسکر (Ur-Theorie) 'فیزیک کوانتومی' به‌طور کلی به‌عنوان یک نظریه پیش‌بینی در باره‌ی جایگزین‌های (انتخاب‌های) تجربیِ قابل تصمیم‌گیری درنظرگرفته می‌شود. در یک چنین نظریه کوانتومی که وایتزسکر

آن را 'نظریه کوانتومی انتزاعی' می‌نامد در ابتدا هنوز صحبت از ذره در فضازمان نیست، بلکه تنها بحث از جایگزین‌ها (Alternativen) است."[۶]

"طبق این نظریه تمامی اشیاء در کیهان از ابژکت‌هایی به نام Ur بنا شده است. یک Ur یک تصمیم جزء (واحد تصمیم) است، یعنی می‌توان به شکل روشن با آری ـ نه تصمیم گرفت. انفورماسیون برای وایتزسکر تعداد Urs در یک وضعیت خاص است و فرم‌ها آمیختار (ترکیبات) Urs هستند. در مدل وایتزسکر محتوای اطلاعاتِ یک شئ به ابژکت‌های تشکیل دهنده Urs کاهش می‌یابد. Urs را می‌توان بجای اشیاء فیزیکی به‌عنوان اشیاء ایده‌آل نیز تعبیر کرد. از این رو نظریه وایتزسکر از نوع تفکر قیاسی است (Ur-object یا "اتم اطلاعاتی")."[۱۹]

وایتزسکر برای نظریه خود تعریفی به شرح زیر ارائه می‌دهد:

"جایگزین‌های باینری را که می‌توان با آنها فضاهای حالت نظریه کوانتومی (State spaces of quantum theory) را بنا نمود، Ur-Alternativen می‌نامیم. زیرابژکت (Subobject) مختص Ur-Alternative را Ur می‌گوئیم. (کتاب وایتزسکر: Aufbau der Physik[۳])

به عبارت دیگر، Ur-Alternativen محتوای اطلاعاتی یک تصمیم احتمالیِ آری ـ نه را نشان می‌دهند، یعنی یک بیت اطلاعات به صورت بالقوه، پتانسیل، درنظرگرفته شده‌است (کیوبیت، بیت کوانتومی، تصویر ۲)."[۶]

در واقع وایتزسکر مفهوم اطلاعات را بر مبنای این دو فرض تعریف می‌کند: ۱. وجود یک نظریه کوانتومی انتزاعی به معنای یک نظریه پیش‌بینی جاگزین‌های تجربی قابل تصمیم‌گیری و ۲. اینکه فضاهای حالت (State spaces) تمام ابژکت‌ها در فیزیک که اساسن از زیرابژکت‌ها (Urs) تشکیل شده‌اند.

به این ترتیب، تعریف وایتزسکر از مفهوم اطلاعات یک انمیسم منطقی ("اتم‌های اطلاعاتی" Ure, Urs) است و نه فضایی. یعنی، زیرابژکت‌های مورد نظر او به‌معنای ذرات بنیادی در فضازمان نیستند. در واقع وایتزسکر خواهان توصیف پدیدارشناختی ذرات بنیادی با کوچکترین ایژکت‌ها ،Ur-objects، است. در اصل وایتزسکر معتقد بود می‌توان با Urs تمام اشیاء و حالت‌های پیچیده‌تر را بنا نمود. او برای رسیدن به این هدف سعی در ارائه یک نظریه ذرات بنیادی از طریق محاسبه فعل و انفعالات Urs داشت که ناتمام ماند.

"نظریه کوانتومی وایتزسکر ،Ur-Theorie، امکان تفسیر فلسفی آن به‌عنوان یک نظریه کوانتومی انفورماسیون بی‌چون و چرا (قاطع) را می‌دهد. کلمه قاطع در چارچوب این تفسیر از مفهوم انفورماسیون نشان از کامل بودن و غنای مفهومی که در آن لحاظ شده است دارد. به‌ویژه اینکه مفهوم انفورماسیون (درست درک شده باشد) لزومن تحت جنبه‌های سه‌گانه‌ی نشانه شناختی روش (نحو)، معناشناسی و پراگماتیک است."[۶]

جالب است بدانیم که در دهه‌های اخیر گمان‌زنی‌های زیادی شده است که اطلاعات یک کمیت فیزیکی مانند انرژی و جرم است. یعنی، اطلاعات یک کمیت اساسی است که به‌نظر می‌آید قابل ردیابی در کمیت‌های دیگر نیست. "تز وایتزسکر بیان از آن دارد که جرم و انرژی که پیش‌تر (۱۹۰۵) از طریق فرمول هم‌ارزی معروف اینشتین $E = m c^2$ شناسایی شده‌اند احتمالن جلوه‌هایی از کمیت اطلاعات هستند."[۶]

در سال ۱۹۱۵ اینشتین نشان داد که فضازمان و ماده (انرژی ـ تکانه) دو روی یک سکه‌اند. حال شاید بتوان ایده وایتزسکر را در فضازمان اینشتین فرمولبندی کرد و از این طریق به یک نظریه به نام نظریه کوانتومی انفورماسیون دست یافت. در این‌صورت می‌توان کل کیهان را مجموعه‌ای از اطلاعات دانست.

نظریه کوانتومیِ انفون Infon و مفهوم اطلاعات

آیا اطلاعات یک کمیت اساسی در طبیعت با کوچکترین واحد به نام **انفون** (برگرفته از مفهوم **انفو**رماسیو**ن**) است؟ گفتیم که در دهه‌های اخیر صحبت از مفهوم اطلاعات به‌عنوان یک کمیت فیزیکی در کنار مفهوم‌های انرژی و جرم است. و اضافه کردیم که ایده وایتزسکر حتا این دو کمیت را اشکالی محتمل از اطلاعات می‌داند. دراین‌صورت سه کمیت جرم، انرژی و اطلاعات مهمترین مفاهیم پایه‌ای دانش ما جنب فضا و زمان برای تشریح کل کیهان محسوب می‌شوند.

سوال: آیا در صورت ارائه نظریه کوانتومی انفورماسیون، واقعیت و اطلاعات مفهوم‌هایی مترادف بحساب نمی‌آیند؟ به

عبارت دیگر، آیا هر نوع پدیده‌ی فیزیکی (هر واقعیتی) در شکل اطلاعات نمایان نمی‌شود و بعکس؟ اگر چنین باشد آیا معنای آن جز این است که ما تنها زمانی از یک پدیده از یک واقعیت مطلع می‌شویم که ابزار لازم برای شناسایی آن را در اختیار داشته باشیم؟ در این حالت آیا پیش‌فرض هر شناختی برخوردار بودن از یک نوع پیش‌دانش به‌عنوان ابزار نیست، به معنای اطلاعاتی پیش‌تر کسب کرده؟ در این‌صورت اگر پیش‌دانش ما در حدی که ضروریست نباشد چی؟

بی‌شک پاسخ به این نوع پرسش‌ها، حتا اگر ایده وایتزسکر هم صحت نداشته باشد، ضروری است. چراکه مایلیم بدانیم تا چه حد می‌توان به تعریفی مشخص و یکتا از مفهوم اطلاعات به‌عنوان یک کمیت فیزیکی، جهانشمول و قابل اندازه‌گیری با یک کوچکترین واحد، انفون، دست یافت.

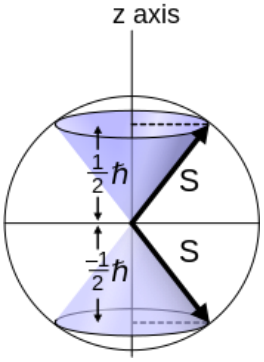
تذکر: مفهوم واقعیت یک مفهوم فیزیکی نیست. با این حال می‌توان "مفهوم واقعیت را به‌عنوان یک اثر واحد یا مجموعه همه اثرات فیزیکی درنظر گرفت. در این‌صورت این پرسش مطرح است که چه ارتباط کمّی بین مفهوم اطلاعات و مفهوم تاثیر وجود دارد. پاسخ به این پرسش می‌تواند به درک جامع‌تر مفهوم تأثیر با استفاده از مفهوم اطلاعات کمک کند و نظریه انفورماسیون شانون را در سطح معنایی ـ عملی نسبی نماید."[۲۰]

در مقاله[۲۱] 'کوانتوم و فلسفه' توضیح دادیم که کیهان سیستمی درهم‌تنیده و کوانتومی است. در عین حال لازم است گفته شود که روشن و قابل تصور بودن پروسه‌ها و پدیده‌ها در دنیای ماکروسکوپی ناشی از باور ما به امکان اندازه‌گیری دقیق آنهاست. در همین رابطه در نقل قول ذکر شده از گ. فون اُپن در ابتدای مقاله از جمله آمده است:

"... دستگاه‌های اندازه‌گیری در مفهوم دینامیک کوانتومی نمی‌گنجند. ... نبودِ قطعیت در اندازه‌گیری‌ها تعیین کننده است. **...** نظریه فیزیکی محدودیت‌هایی دارد."[۵]

آنتون زیلینگر، فیزیکدان اتریشی (۱۹۴۵*) برنده جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۲۲، در این‌باره می‌گوید:

"ما اساسن نمی‌توانیم توضیح دهیم که چرا در یک آزمایش کوانتومی نتیجه اندازه‌گیری خاصی را که مشاهده می‌کنیم، رخ می‌دهد و نه نتیجه احتمالی دیگری. وقتی من یک برهمنهی (Superposition) از بسیاری از احتمالات را دارم و سیستم را به یک دستگاه کلاسیک وصل می‌کنم، می‌توانم از انسجام بین احتمالات مختلف خلاص شوم. اما چیزی که نمی‌توانم توضیح دهم این است که چرا این نتیجه خاص در یک آزمایش خاص رخ می‌دهد: اگر من اسپین (Spin، اندازه حرکت زاویه‌ای؛ این کمیت معادل کلاسیک ندارد بلکه جزو خاصیت‌های بنیادی ذرات زیراتمی است؛ تصویر۳) را در جهت محور z اندازه بگیرم چرا در یک مورد به سمت بالا و در مورد دیگر به سمت پایین اشاره می‌کند؟ هیچ تصویر کلاسیک هم برای این وجود ندارد جز در مورد بی‌اهمیت، جایی‌که اسپین قبل از اندازه‌گیری در جهت z قرارگرفته باشد. برای من، این یکی از مهم‌ترین یافته‌های فیزیک مدرن است. این چیزی هست که هیچ توضیح علّی برای آن وجود ندارد. من فقط می‌توانم چیزی را به‌صورت علّی برای هم‌فزونی‌های (گردآمده‌های) آماری توضیح دهم، اما نه برای رویداد فردی. ... واقعیت فقط پس از اندازه‌گیری وجود دارد. ... اما پیش‌تر این واقعیت نبود و سیستم حالت مکانیکی کوانتومی داشت، در یک حالت برهمنهی یا حتا ترکیبی از گزینه‌های مختلف."[۲۲]



تصویر۳: اسپین (S) یک ذره می‌تواند صفر یا هر عدد صحیح و نیم‌صحیح بزرگتر از صفر در ثابت کاهیده پلانک $\hbar$ باشد.[۲۲]

در آغاز مقاله این پرسش‌ها را مطرح کردیم: "آیا اطلاعات ماهیت فیزیکی دارد؟ آیا این ماهیت است که باعث تغییر یا ایجاد حالت جدید در یک سیستم می‌شود؟"

پاسخ ر. گرمر به این پرسش‌ها در نقل قول ذکر شده از او در پیشگفتار چنین است:

"... اطلاعات در روابط بین کوانت‌ها وجود دارد و تعداد این روابط به‌طور قابل توجهی بیشتر از تعداد کوانت‌ها به تنهایی است. این بدان معناست که کانال‌های اطلاعاتی‌ای وجود دارند که می‌توان از بین آنها یکی را انتخاب کرد و این تاثیر آزمایشگر است (البته نه به خواست آزمایشگر، ح. ب.). از تعداد کوانت‌ها و امکان انتخاب اطلاعات، نه تنها دقت نتیجه در توضیحات بلکه همچنین مرز تعریف دنیای ما حاصل می‌شود."[۴]

در مقاله[۲۴] تحت عنوان 'آیا کیهان یک هولوگرام است؟'، آمده است:

"گفته می‌شود جهان هستی (جهان فیزیکی) از انرژی و ماده بنا شده است. آیا به راستی چنین است؟ یافته‌های جدید علمی نشان می‌دهند که توصیفِ جهان فیزیکی سوای دو مفهوم مهم انرژی و جرم به‌ویژه مستلزم مفهومِ بسیار اساسی دیگریست به نام اطلاعات (انفورماسیون). چراکه کیهان در اصل از بیش از ۹۸ % (نودوهشت درصد) روابط کوانتومی (Quantum relationships) تشکیل شده است. از این‌رو می‌توان نظریه کوانتوم را انفورماسیون کوانتومی (Quantum information) نیز نامید. در واقع نظریه کوانتوم در درجه‌ی نخست نظریه‌ایست در باره‌ی اطلاعات. اطلاعات کوانتومی در سامانه‌های (سیستم‌های) فیزیکی و پروسه‌های طبیعی نقش فوق‌العاده تعیین کننده دارد. بنابر تفسیری از نظریه کوانتوم، جهان هستی در اصل از انفورماسیون (اطلاعات) تشکیل شده است، تفسیری که ابتدا از جانب جان ویلر (John Archibald Wheeler) فیزیکدان معروف آمریکایی (۲۰۰۸-۱۹۱۱) در نیمه دوم قرن گذشته در شکل It from Bit (کیهان از اطلاعات تشکیل شده است) ارائه شد."[۲۴]

گفتیم، وایتزسکر در تلاش برای ارائه یک نظریه ذرات بنیادی بر اساس "اتم‌های اطلاعاتی"، Urs، ناکام ماند. اما ایده او که بتوان اطلاعات را به‌عنوان یک کمیت جهانشمول پایه‌ای نشان داد همچنان مطرح است. به‌ویژه به این علت که بیش از ۹۸ % کیهان از روابط کوانتومی، رابطه بین کوانت‌ها، تشکیل شده است. از این رو بدیهیست که اطلاعات را یک کمیت طبیعی (فیزیکی) جهانشمول تلقی کنیم. بدین ترتیب هر پدیده‌ای، هر واقعیتی، حاوی مقدار معینی از این کمیتِ اطلاعات تلقی می‌شود. اطلاعاتی که در زمان مشاهده (اندازه‌گیری) یکی از آن روابط موجود بین کوانت‌ها به‌صورت احتمالاتی ظاهر می‌شود. اطلاعات ویژه این چنینی از لحظه دریافتشان با طی پروسه‌های خاص بیولوژکی بر مغز ما تاثیر گذاشته، باعث تغییر یا ایجاد حالت جدید در آن می‌شود و در نهایت ما از محتوای آن، البته نه لزومن به‌صورت یک به یک، مطلع می‌شویم. شدت و ضعف تاثیرات اطلاعاتی بر ساختار مغز ما بستگی به مقدار اطلاعات، یعنی تعداد واحدهای کمیت مزبور، انفون، دارد.

به نظرم کوچکترین واحد اطلاعات، انفون، می‌تواند هر عدد صحیح و یا کسری از اثر پلانک باشد. اثر پلانک، مرتبط کننده انرژی فوتون به بسامد آن، یک ثابت طبیعی و از مفاهیم اساسی نظریه کوانتومی است.[۲۵] اندازه این اثر مساویست با $h = 6{,}626068 \cdot 10^{-34}$ Js. از آنجائیکه مقدار اطلاعات کوانتومی در یک سیستم کوانتومی محدود است، لذا نمی‌توان با آن نتایج تمام اندازه‌گیری‌های ممکن را تعیین کرد. به این دلیل که ما در اینجا با طیفی از احتمالات، سطوح انرژی گسسته، مواجه هستیم. در این‌صورت نتیجه یک اندازه‌گیری خاص با قطعیت قابل پیش‌بینی نیست. این بدان معناست که عدم قطعیت کوانتومی یک اصل اساسی است. به عبارت دیگر، نتیجه‌ی بدست آمده یک قطعیت تصادفی است.

در باره نحوه‌ی تاثیرگذاری پدیده‌های گوناگون بر مغز انسان در 'کتاب علم اندیشیدن ـ ریشه‌ها و روش‌ها'[۲۶] توضیحاتی داده شده است که در اینجا به نقل قول مختصر زیر از آن اکتفا می‌کنیم.

"آزمایش‌های انجام گرفته روی مغز انسان نشان می‌دهند که سلول‌های مغز سیگنال‌های مختلف دریافت شده از بیرون توسط حواس پنجگانه را پردازش کرده سپس آن‌ها را به یاخته‌های دیگر انتقال می‌دهند. سیگنال‌های گوناگون بیرونی در نتیجه‌ی فعل و انفعالات فیزیکوشیمیایی در برون و درون سلول و میان سلول‌ها تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی می‌شوند. این سیگنال‌ها، بسته به نوع کنش و واکنش‌های میان ما و محیط، با درجه‌ی تراکم مختلفی از ذرات در جریان هستند. اختلاف تراکم به نوبه‌ی خود امکان تفکیک سیگنال‌ها را در پی دارد. جریان تراکم ذرات، به مثابه‌ی علائم رمزی حاوی اطلاعات، در اصل سیستم تبادل انفورماسیون میان برون و درون را تشکیل می‌دهد."[۲۶]

نتیجه: آنچه را که ما واقعی می‌بینیم چیزی نیست جز آنچه حواس پنجگانه ما (در بهترین حالت) به ما می‌گویند. به عبارت دیگر، آنچه ما در دنیای بیرونی شناسایی می‌کنیم در واقع در دنیای درون ما اتفاق می‌افتد (با تمام کاستی‌هایش). درست به همین دلیل محال است بتوان در باره‌ی واقعیت سخن گفت بدون آنکه درک درستی از مفهوم اطلاعات (چیستی و تاثیر آن)، شیوه عملکرد دستگاه ادراک (حواس پنگانه و مغز) و رابطه بین آنها داشته باشیم.

مراجع

1. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQIoGWjmaIOX0BS7KHcwJ6BbpFfXcElnUOZ7_AqqZ38DRQ&s

2. https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/01655515221141040 ; R. L. Wang Dec. 21, 2022

3. Carl. Friedrich von Weizäcker,

4. Rudolf Germer, Zur Information als Grenze der physikalischen Erkenntnis, academia.edu, 30.Okt. 2021

5. Hassan Bolouri: Limits of the Science of Physics (Gebhard von Oppen)

۵. حسن بلوری، محدودیت‌های علم فیزیک؛ ترجمهٔ نوشته گبهارد فون اُپن، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئن سال ۲۰۲۳

6. http://lyre.de/urinfo.htm ;Holger Lyre Informationsbegriff und Quantentheorie der Ur-Alternativen

7. Albert Einsrein, Grundzüge der Relativitätstheorie, 7. Auflage, Akademie Verlag, Berlin, 1969, S. 6

8. Hassan Bolouri, Is our universe a hologram?

۸. حسن بلوری، 'آیا کیهان یک هولوگرام است؟'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۲۳

9. Hassan Bolouri, limits of sensory perception

۹. حسن بلوری، 'مرزهای ادراک حسّی در شناختِ بی‌واسطه'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه نوامبر سال ۲۰۲۰

10. N.J.A. Sloane and A.D. Wyner. Claude E. Shannon: Collected Papers. Wiley-IEEE Press, 1993.

11. Claude Shannon, A Mathematical Theory of Communication, Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp 397- 423, 623 - 656, 1948

12. https://de.wikipedia.org/wiki/Quanteninformation

13. Claus Kiefer, Der Quantenksmos, Fischer Verlag Frankfurt/Main, 2.Aufl. 2009, S. 155-6

14. Hassan Bolouri, Entropic gravity; Thermodynamics of spacetime

۱۴. حسن بلوری، 'گرانش آنتروپیک ـ ترمودینامیک فضازمان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه اکتبر سال ۲۰۲۳

15. https://www.academia.edu/8410078/Weshalb_wir_nicht_nach_einer_Quantengravitation_suchen_sollten_sondern_nach_einer_Thermodynamik_der_Raumzeit

16. https://en.wikipedia.org/wiki/Qubit#:~:text=In%20quantum%20computing%2C%20a%20qubit,

17. Hassan Bolouri, The limits of sensory perception

۱۷. حسن بلوری، ’مرزهای ادراک حسی در شناخت بی‌واسطه‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه نوامبر سال ۲۰۲۰

18. https://de.wikipedia.org/wiki/Quantentheorie_der_Ur-Alternativen

19. file:///C:/Users/hassan/Downloads/208-Article%20Text-686-1-10-20101023.pdf

20. https://vixra.org/pdf/1807.0230v3.pdf

21. Hassan Bolouri, Quantum, and Philosophy

۲۱. حسن بلوری، ’کوانتوم و فلسفه‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۱۹

22. Anton Zeilinger: file:///C:/Users/hassan/Downloads/sdw_2008_3_S38.pdf

23. https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%B3%D9%BE%DB%8C%D9%86

24. Hassan Bolouri, Is our universe a hologram?

۲۴. حسن بلوری، ’آیا کیهان یک هولوگرام است؟‘، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۲۳

25. Hassan Bolouri, The natural constants and epistemology

۲۵. حسن بلوری، ’ثابت‌های طبیعی و شناخت شناسی‘، منتشر شده در سایت های پارسی زبان، ماه فوریه سال ۲۰۲۱

26. Hassan Bolouri, The Science of Thinking – Principles and Methods

۲۶. حسن بلوری، ’علم اندیشیدن ـ ریشه‌ها و روش‌ها‘، نشر هزاره‌ی سوم، زنجان، ۱۳۹۴

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx