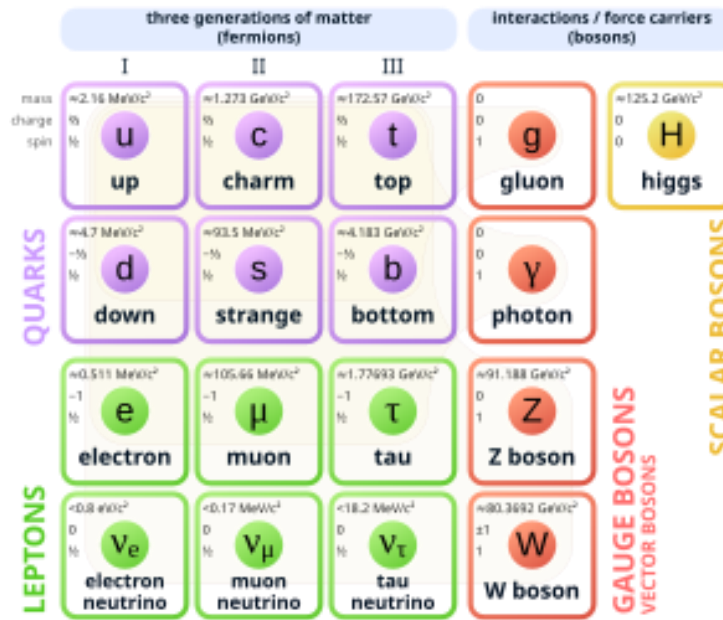


چیستی ذرات بنیادی



The essence of Elementary Particles¹

نظریه کوانتوم و در مرکز آن مدل استاندارد ذرات بنیادی، بدون واکاوی فلسفی توان پاسخ به چیستی ذرات بنیادی را ندارد. این امر خواهان بررسی انتولوژی ذرات بنیادی است که تاکنون به ندرت به آن پرداخته شده است.

فشرده

نظریه کوانتوم، نظریه نسبیت، فیزیک آماری و کیهان‌شناسی اساس علم مدرن جهان هستی را تشکیل می‌دهند. نظریه کوانتوم با مرکزیت مدل استاندارد ذرات بنیادی، توان توصیف ذرات بنیادی تاکنون شناخته شده را دارد. این مدل در شکل فشرده، هسته‌ی اصلی علم فیزیک مدرن را تشکیل می‌دهد. با این محدودیت که شامل نظریه نسبیت عام با ذره‌ی فرضی به نام گراویتون نمی‌شود. صرف‌نظر از این امر، مدل استاندارد ذرات بنیادی به تنهایی توان پاسخ به چیستی ذرات بنیادی مانند ذره الکترون را ندارد. در واقع، آنچه مدل استاندارد در باره‌ی ذرات بنیادی بیان می‌دارد، محدود می‌شود به ویژگی‌هایی از این ذرات، مانند بار الکتریکی، جرم ساکن و اسپین (چرخش)، بی‌آن‌که بگوید ذره چیست. تلاش برای یافتن پاسخ به چیستی ذرات بنیادی بی‌درنگ پای فلسفه، خاصه فلسفه‌ی هستی‌شناسی (انتولوژی) را به میان می‌کشد. به بیان دیگر، پیش‌شرط پرداختن به چیستی ذرات بنیادی، داشتن اطلاع کافی از دو رشته‌ی ظاهرن مجزا از هم، یعنی علم فیزیک مدرن و دانش فلسفه، به‌ویژه فلسفه‌ی انتولوژی است.

علم فیزیک، اشیاء را تشکیل شده از اتم‌ها، یعنی از ذرات الکترون و ذرات زیراتمی، مانند پروتون‌ها و نوترون‌ها (متشکل از کوارک‌ها)، لپتون‌ها، نوترینوها و بوزون‌ها (ذرات مربوط به نیروها) می‌داند (تصویر ۱). در این میان، مسئله‌ای که بیان چیستی ذرات بنیادی را دشوار می‌کند، وجود تبدیل‌های ممکن فراوان بین ذرات است. برای مثال، تبدیل ذره کوارک پائین به ذره کوارک بالا. به‌همین دلیل انتولوژی ذرات می‌باید جنب ملاحظه‌ی قوانین پایداری مدل استاندارد ذرات بنیادی، این تبدیل‌ها را مدنظر داشته باشد.^۲ و در ادامه، لازم است نتایج بدست آمده با تجربیات عینی سنجیده شوند.

در این مقاله تلاش می‌کنیم، پس از پیشگفتار و توضیحاتی در باره‌ی مدل استاندارد ذرات بنیادی، فلسفه‌ی هستی‌شناسی و مفهوم تروپ (Trope)، چیستی ذرات بنیادی را بررسی و نشان دهیم که این ذرات ساختارهایی شکل‌گرفته از تروپ نکلیوس (هسته)، محیط نکلیوس و هاله نکلیوس هستند.

آلبرت اینشتین در مقاله^۴ 'فیزیک و واقعیت' می‌نویسد:

"فلسفیدن را به‌عهدی فیلسوفان گذاشتن شاید برای دورانی که فیزیکدان‌ها معتقد بودند از یک سیستم پایدار، مفهوم‌های اساسی و قوانین اساسی برخوردارند، اشکالی نداشته باشد. اما نه در دورانی که در آن کلی پایه فیزیک مشکل‌ساز شده است. فیزیکدان در چنین زمانه‌ای نمی‌تواند از کندوکاو آن به جبر تجربه، پژوهش انتقادی را به سادگی به فلسفه واگذار کند. زیرا فقط او بهتر می‌داند و حس می‌کند که مشکل کجاست. در جست‌وجوی یک پایه جدید، لازم است که او از مجوز یا لزوم مفهوم‌های مورد نظرش تا حد ممکن آگاه باشد."^۴

درک روشن و عمیق از مفهوم‌های مشترک فیزیک و فلسفه نیازمند بهر‌مجوی علم فیزیک از دانش فلسفه و بعکس دانش فلسفه از یافته‌های علم فیزیک است. بی‌تردید فعالیت در یک چنین عرصه‌ی بنیادی، یعنی فصل مشترک فیزیک و فلسفه، نیازمند مفهوم‌های ویژه خود نیز می‌باشد.^۳ مفهوم‌هایی که قادر به ارائه تصویر درست‌تری از جهان هستی باشند. برای این منظور نیاز به فیلسوفان آشنا به علوم طبیعی، به‌ویژه فیزیک و نظریه‌های جدید آن از جمله فیزیک سیستم‌های زنده (بیولوژی ملکولی، بیولوژی کوانتومی)، سینرجتیک و علم فرگشت و همچنین فیزیکدانان علاقمند به پرسش‌های متافیزیکی و فلسفه‌ی تحلیلی (مفهومی)، یعنی فیلسوفان فیزیکدان و فیزیکدانان فیلسوف‌مشرّب، است. در این‌باره در ابتدای مقاله^۵ 'کوانتوم و فلسفه' می‌خوانیم:

"علم فیزیک همواره با دانش فلسفه به‌عنوان تفکر مفهومی برای فهم چیستی و چگونگی عملکرد جهان هستی آمیخته بوده است. نگاهی کوتاه به تاریخ توسعه فیزیک، از نظریات ارسطو در باره افلاک تا نظریه گرانش نیوتن، نظریه نسبیت خاص و عام اینشتین و نظریه کوانتوم، گویای این ادعاست. علم فیزیک تا پیش از نظریه‌های بنیادی قرن بیستم، جهان درونی (ذهن انسان) را مستقل از جهان برونی تلقی می‌کرد. اکنون اما دریافته‌ایم که جهان هستی درهم‌تنیده و کوانتومی است. لذا تفکیک آن به درون و برون فاقد اعتبار است. این شناخت، بار سنگینی را بر دوش فیلسوفان عصر ما گذاشته است. باری که در اصل به‌معنای ارتقاء دوباره‌ی جایگاه فلسفه در ارتباط با علوم طبیعی است. یعنی، در مقامی که در گذشته‌های دور فلسفه و فیزیک تحت عنوان 'فلسفه طبیعی' درهم‌آمیخته بودند. اکنون ما بار دیگر شاهد هم‌گرایی فیزیک و فلسفه، برای فهم چیستی و عملکرد جهانی که درهم‌تنیده و کوانتومی می‌باشد، هستیم."^۵

ذرات بنیادی و مدل استاندارد

ماده معمولی از اتم‌ها تشکیل شده است و اتم‌ها از جمله از الکترون‌ها، ذرات مرکب زیراتمی مانند پروتون‌ها و نوترون‌ها و ذرات مرکب از ذرات بنیادی تشکیل شدند. ذره‌ی بنیادی در علم فیزیک به ذره‌ای گفته می‌شود که از ذرات دیگر تشکیل نشده است، مانند ذره کوآرک، ذره الکترون یا ذره فوتون.

مدل استاندارد ذرات بنیادی، نامی است در نظریه کوانتوم^۶ و^۷ برای توصیف ذرات بنیادی و چگونگی برهم‌کنش‌های آنها در سطح سه نیرو از چهار نیروی اساسی^۱ فیزیک (نیروی الکترومغناطیسی، نیروی هسته‌ای ضعیف و نیروی هسته‌ای قوی). و در چهارچوب مکانیک کوانتومی و نظریه نسبیت خاص: به عبارت دیگر، مدل استاندارد ذرات بنیادی نیروی گرانشی با ذره‌ی فرضی به نام گراویتون را شامل نمی‌شود. این مدل اشیاء را تشکیل شده از ذرات بنیادی: کوآرک‌ها (مانند کوآرک بالا)، لپتون‌ها (مانند الکترون) و واسطه‌ها (مانند فوتون) می‌داند. در این مدل ۱۷ ذره با نام‌های خاص ذکر شده‌اند (تصویر ۱). این ذرات به دو گروه 'فرمیون‌ها (سازنده‌ی ماده به تعداد ۱۲)' و 'بوزون‌ها (واسطه‌های برهم‌کنش میان ذرات به تعداد ۵)' تقسیم شده‌اند. فرمیون‌ها از 'قانون آماری فرمی - دیراک' پیروی می‌کنند. به این معنا که هیچ دو فرمیونی را نمی‌توان با اعداد کوانتومی یکسان توصیف کرد. در مقابل، بوزن‌ها از 'قانون آماری بوز - اینشتین' پیروی کرده و می‌توان دو یا چند بوزون را با اعداد کوانتومی یکسان توصیف کرد. "از نظر تئوری، مدل استاندارد ذرات بنیادی یک 'نظریه میدان‌های کوانتومی' است که توان توصیف تمامی ذرات بنیادی شناخته شده تاکنون را دارد. ذراتی که در اصل از میدان‌ها بنا شده‌اند و فقط در شکل بسته‌های گسسته قابل تغییر هستند. این بسته‌ها با ذرات قابل مشاهده مطابقت دارند."^{۱۱} از آنجایی که دو نظریه مهم فیزیک، یعنی نظریه کوانتوم با مدل استاندارد ذرات بنیادی و نظریه کلاسیک نسبیت عام، در انرژی‌های بسیار بالا به‌ویژه در مقطع مهبانگ یا تکینگی با هم همخوانی ندارند، می‌باید که هر دو نظریه ناکامل باشند. از این‌رو نیاز به بنای نظریه‌ایست توسعه یافته‌تر از این دو نظریه که می‌تواند 'نظریه گرانش کوانتومی'^{۱۲} و^{۱۳} باشد. اما تلاش‌ها برای ارائه یک چنین نظریه‌ای، چه از طریق نظریه ریسمان‌ها و چه از طریق کوانتیزه کردن نظریه نسبیت عام، تاکنون به نتیجه دلخواه نرسیده است. به‌عظر برای ارائه چنین نظریه‌ای نیاز به شناخت از لحظات اولیه کیهان

است، لحظاتی که در آن احتمالان نیروی گرانش اولین نیرویی است که از نیروهای سه‌گانه نامبرده جدا می‌شود.

انتولوژی (هستی‌شناسی)

مدل استاندارد ذرات بنیادی با تمامی موفقیت‌های بی‌نظیرش در عرصه‌های گوناگون نظری و عملی، توان توضیح چپستی ذرات بنیادی را ندارد. به این معنا که این نظریه بیان نمی‌دارد آیا ذرات بنیادی، به‌عنوان مثال یک ذره الکترون، از ماده، از انرژی یا از چیز دیگری تشکیل شده‌اند. این‌که بگوئیم الکترون دارای خواصی مانند بار الکتریکی، جرم ساکن و اسپین است و به این گفته اکتفا کنیم، به‌معنای بیان چپستی آن نیست. تعریف مفهوم ذره بنیادی از جمله به دلیل انتقال‌های فراوان ممکن بین انواع ذرات آسان نیست. ما در تلاش برای یافتن پاسخ مناسب به پرسش چپستی ذرات بنیادی خواسته و ناخواسته وارد عرصه مشترک علم فیزیک و دانش فلسفه، خاصه فلسفه انتولوژی می‌شویم. از این‌رو لازم است ابتدا کوتاه به انتولوژی به‌معنای هستی‌شناسی اشاره‌ای داشته باشیم تا در ادامه با یاری مفهوم تروپ چپستی ذرات بنیادی را تشریح کنیم.

انتولوژی یا هستی‌شناسی (شاخه‌ای از متافیزیک) بخشی از دانش فلسفه است که می‌کوشد به پرسش چپستی اشیاء پاسخ دهد. در مقاله^۵ نامبرده در این‌باره می‌خوانیم:

"موضوع بحث انتولوژی، چپستی هستند هاست. پرسش‌هایی مانند: شیء و ماهیت چپستند و چه رابطه‌ای باهم دارند. آیا ماهیت بخشی از شیء است؟ در این‌صورت اما چگونه دو چیز مختلف می‌توانند دارای یک ماهیت باشند؟ چرا بعضی وقت‌ها می‌گوئیم چیزها، برای مثال آدم‌ها، تغییر می‌کنند ولیکن هویت‌شان را حفظ می‌کنند؟ و گاهی هم چیزها بر اثر تغییر، هویت خود را از دست داده و دیگر وجود ندارند، مانند تکه یخی که آب شده باشد؟ بی‌تردید پاسخ این‌گونه پرسش‌ها منحصر به یک شیء و یا یک ماهیت خاص نمی‌شود بلکه حالت عام دارد. با ملاحظه‌ی یافته‌های تجربی، انتولوژی تحلیلی دریافته است که نمی‌توان نتایج علوم طبیعی، به‌ویژه علم فیزیک، را نادیده گرفت. اما نمی‌توان هم آنها را بی‌کم و کاست پذیرفت. انتولوژی با بهره‌گیری از مفهوم تقارن، محور اصلی فیزیک مدرن، و انتخاب آن برای پژوهش ذرات بنیادی توانسته است به موفقیت‌های چشمگیری دست یابد. موفقیت‌هایی که متقابلاً به شناخت عمیق‌تر مفهوم‌های فیزیکی یاری می‌رسانند، از جمله در مفهوم ماده و ذرات تشکیل دهنده‌ی آن. ایده‌ی اصلی در انتولوژی آن است که ذره را مجموعه‌ای از ویژگی‌ها، مانند فرم، رنگ و غیره ارزیابی می‌کند. در اینجا این پرسش مطرح است که کدامیک از ویژگی‌ها دائمی و کدامیک می‌توانند در طول زمان تغییر کنند بی‌آن‌که ذره مربوطه از بین برود. اما چگونه می‌توان دانست، کدام ویژگی‌ها برای هویت ذره لازم و تغییرناپذیرند و کدام ویژگی‌ها می‌توانند تغییر کنند؟"^۵

مطالب زیر، بهره‌گرفته از مقاله^{۱۶}، انتزاعی، غیرمتعارف و همراه با مفاهیمی کمتر شناخته شده است. از این‌رو شاید نیاز به دوبار خوانی آنها باشد.

مفهوم تروپ (Trope)

"مفهوم تروپ مشخصه‌ای را توصیف می‌کند که برای یک شیء منحصر به فرد است. به این معنا که به‌عنوان مثال دو توپ بیلیارد که از نظر رنگ بیرونی (صوری) کاملن شبیه هم هستند، با این حال هر توپ نشان دهنده یک تروپ متفاوت است. یعنی، دو توپ بیلیارد دارای ویژگی یکسان (برای مثال رنگ قرمز)، اما دو تروپ متفاوت هستند. یعنی، تروپ قرمز توپ بیلیارد ۱ و تروپ قرمز توپ بیلیارد ۲. در واقع، توپ بیلیارد چیزی (شیء‌ای) را نشان می‌دهد که تنها به‌عنوان یک دسته تروپ قابل درک است. با توجه به رویکرد کلی نظریه تروپ، تروپ‌های فردی (مجزا)، مستقل از یکدیگر وجود دارند و می‌توانند در پیوند باهم تشکیل اشیاء دهند. البته، این بیان در مورد تمامی نظریه‌های تروپ صدق نمی‌کند. از جمله در نظریه تروپ نکلیوس (nucleus، هسته) که در زیر توضیح داده می‌شود. در میان نسخه‌های مختلف نظریه تروپ، نظریه دسته‌بندی، همچون نظریه دونالد کری ویلیامز^{۱۵}، فیلسوف آمریکای (۱۹۸۳-۱۸۹۹) و کیت کمپل^{۱۶}، زیست‌شناس انگلیسی (۲۰۱۲-۱۹۵۴)، ساده‌ترین رویکرد را نشان می‌دهد. با توجه به این مفهوم، اشیاء مختلف هر کدام فقط یک دسته از تروپ‌ها بحساب می‌آیند و از طریق رابطه‌ی مشترک در پیوند باهم قرار می‌گیرند. یعنی، تروپ‌های مربوطه در یک مکان و زمان قرار دارند."^{۱۷}

نظریه تروپ نکلیوس

در بالا گفتیم: "چرا بعضی وقت‌ها می‌گوئیم چیزها، برای مثال آدم‌ها، تغییر می‌کنند ولیکن هویت‌شان را حفظ می‌کنند؟ و گاهی هم چیزها بر اثر تغییر، هویت خود را از دست داده و دیگر وجود ندارند، مانند تکه یخی که آب شده باشد؟" این

پرسش‌ها در مورد ذرات بنیادی نیز صدق می‌کنند. "برای مثال یک ذره الکترون در مدل استاندارد ذرات بنیادی همیشه دارای جرم ساکن 0.511 MeV (مقاله الکترون ولت) و بار الکتریکی منفی ۱- است. یک ذره فارغ از این مشخصات نمی‌تواند یک ذره الکترون باشد. این امر در مورد قدر مطلق اسپین (جرخش) الکترون نیز صدق می‌کند. با این حال، اسپین الکترون می‌تواند دو جهت متفاوت داشته باشد (جهت بالا و جهت پائین). یعنی، جهت اسپین الکترون‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. نظریه تروپ نکلیوس که از جانب پیتر سیمونز^{۱۸}، فیلسوف انگلیسی (۱۹۵۰*)، به‌طور خاص مورد بحث قرار گرفت، این تمایز را از طریق یک سلسله مراتب از تروپ‌های ضروری و تعدادی تروپ‌های تعیین شده در نظر می‌گیرد. تروپ نکلیوس، تروپ‌های ضروری را که که توسط یک همبستگی دائمی بهم متصل می‌شوند، گردهم می‌آورد. بنابراین، نکلیوس تجسم کننده‌ی جوهر فردی شیء مربوطه است. چراکه، هر تروپ فقط یکبار وجود دارد. محیط اطراف تروپ نکلیوس را، تروپ‌های تعیین شده تشکیل می‌دهند. لایه دیگر، هاله نکلیوس است که از تروپ‌های اختیاری تشکیل شده است. شیء‌ای مانند الکترون می‌تواند هیچ، چندین یا همه ویژگی‌های این لایه را داشته باشد. مجموعه همه تروپ‌ها باهم بیان از چپستی یک شیء دارد."^{۱۷}

ذرات بنیادی در نظریه تروپ

بر اساس توضیحات ارائه شده، می‌توان چپستی ذرات بنیادی را تشریح کرد: به‌عنوان مثال، یک ذره الکترون سواى ویژگی‌های ذکر شدن، یعنی جرم ساکن $m_e = 0.511 \text{ MeV}/c$ ، بار الکتریکی $q = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$ و اسپین $|s| = 1/2$ ، برخوردار از ویژگی‌هایی به نام عدد لپتون $L = 1$ ، عدد باریون $B = 0$ و جهت اسپین $s = +/-$ است. در این مثال ۵ ویژگی اول ثابت هستند، یعنی تروپ‌هایی هستند که تغییر نمی‌کنند. در نتیجه جزو تروپ نکلیوس (هسته) محسوب می‌شوند. در مقابل ویژگی اسپین امکان تغییر جهت (جهت بالا یا جهت پائین) را دارد. یعنی از آن تروپ‌هایی است که امکان تغییر دارند. از این‌رو این نوع ویژگی‌ها، در اینجا جهت اسپین، جزو تروپ محیط (محیط نکلیوس) بحساب می‌آیند. و بالاخره تروپ هاله زمانی وجود دارد، برای مثال وقتی که یک ذره الکترون تحت تاثیر یک میدان بیرونی قرار می‌گیرد. در این‌صورت، میدان بیرونی از آن تروپ هاله محسوب می‌شود.

تبدیل ذرات در نظریه تروپ

ذرات بنیادی در نظریه تروپ بیشتر به دو صورت قابل تبدیل تصور می‌شوند: ۱. تبدیل یک ذره به ذره دیگر و ۲. تبدیل یک گروه از ذرات به گروهی دیگری از ذرات.

۱. مثال بارز برای حالت اول، یعنی تبدیل یک ذره به ذره دیگر، ذره نوترینو است. جرم یک ذره نوترینو مانند نوترینو ν_μ فارغ از نواسانات، همراه با عدد لپتون L ، عدد باریون B و بار الکتریکی q تشکیل یک نکلیوس (هسته) را می‌دهد. اما اگر همین ذره با نواسانات در نظر گرفته شود، جرم آن می‌تواند تغییر کند. در این‌صورت نظریه تروپ جرم آن را نه از آن نکلیوس بلکه از آن محیط نکلیوس بحساب می‌آورد. این امکان بیان از انعطاف‌پذیری نظریه نکلیوس دارد. لذا، در واقعیت نه آن‌طور تصور می‌شود سه نوع نوترینو (تصویر ۱: الکترون نوترینو ν_e ، میون نوترینو ν_μ و تاؤ نوترینو ν_τ) با جرم‌های مختلف بلکه تنها یک نوترینو با امکان برهم‌نهی سه جرم مختلف وجود دارد که می‌توان در برش‌های (مقاطع) مختلف زمانی تشخیص داد.^{۱۷}

۲. تبدیل یک گروه از ذرات به گروهی دیگر از ذرات: مثال بارز برای این حالت متلاشی شدن لپتون‌های باردار سنگین مانند لپتون میون μ (تصویر ۱) است. به این صورت: $\mu^- \rightarrow \nu_\mu + \bar{\nu}_e + e^-$. البته، بررسی‌های دقیق نشان از متلاشی شدن μ^- به نوترینو ν_μ و بوزون W^- (تصویر ۱) دارند. و این بوزون به نوبه خود به ضد نوترینو $\bar{\nu}_e$ و لپتون e^- متلاشی می‌شود. در اغلب موارد امکان ندارد، یک ذره قبل از انتقال را به ذره پس از آن اختصاص داد. یک مثال برای این مورد، متلاشی شدن ذره نویترون است: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$. یعنی، متلاشی شدن یک نویترون به یک پروتون، یک الکترون و یک ضد نوترینو $\bar{\nu}_e$ همراه با تبدیل یک کوارک پائین (d-Quark) به یک کوارک بالا (u-Quark). به تعبیر دیگر، یک نویترون به سیستمی از پروتون، الکترون و ضد نوترینو $\bar{\nu}_e$ متلاشی می‌شود. این تعبیر می‌گوید، نمی‌توان ویژگی‌های خاصی را به تک تک ذرات اختصاص داد. بلکه به کل سیستم، پیش و پس از تبدیل، یعنی به ویژگی گروهی قائل شد.^{۱۷} مشلبه فروپاشی کوارک‌ها را می‌توان برای تروپ یک سیستم (یک مجموعه) مانند مجموعه انرژی‌ها در نظر گرفت. از آنجایی‌که برای مثال، مجموع انرژی‌های ذرات مختلف یک سیستم ثابت است، لذا تروپ مربوطه آن از آن هسته گروه (نکلیوس گروه) بحساب می‌آید.

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Model
2. Thomas Brückner, Was ist ein Elctron? In: Physik Journal, Deutache Physikalische Gesellschaft, Noveber 2024, 23. Jahrgang
3. Meinhard Kuhlmann, Sein oder Nichtsein? In: Physik Journal, Nr.6, 15. Jahrgang, Wiley-VcH Verlag, Weinheim, 2016
4. Albert Einstein, Physik und Realität, In: Jounal of The Franklin Institute, Vol. 221, March 1936, No. 3, S. 313-347
5. Hassan Bolouri, Quantum and Philosophy
۵. حسن بلوری، 'کوانتوم و فلسفه'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۱۹
6. Hassan Bolouri, Quantum and Epistemology
۶. حسن بلوری، 'کوانتوم و معرفت‌شناسی'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۱۹
7. Hassan Bolouri, Why is there something rather than nothing?
۷. حسن بلوری، 'چرا به‌جای هیچ، چیزی وجود دارد؟'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه آوریل سال ۲۰۲۰
8. Hassan Bolouri, The concept of matter in Philosophy and Science
۸. حسن بلوری، 'مفهوم ماده در فلسفه و علم'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۰
9. Hassan Bolouri, The natural constants and epistemology
۹. حسن بلوری، 'ثابت‌های طبیعی و شناخت‌شناسی'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه فوریه سال ۲۰۲۱
10. Hassan Bolouri, Symmetry: the key to recognizing the cosmos
۱۰. حسن بلوری، 'تقارن - کلید شناخت کیهان'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۰
11. <https://de.wikipedia.org/wiki/Standardmodell>
12. Hassan Bolouri, Quantum gravity
۱۲. حسن بلوری، 'گرایش کوانتومی'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۳
13. Hassan Bolouri, Quantum cosmology
۱۳. حسن بلوری، 'کیهان‌شناسی کوانتومی'، منتشر شده در سایت‌های پارسی‌زبان، ماه ژوئن 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. Donald Cary Williams, Review of Mtaphysics 7(1), 7 (1953)
16. Keith Campbell, Abstract Particulaes, Blackwell, Oxford 1990
17. Thomas Brückner, In: Physik Joural, Deutsche Physikalische Gesellschaft, November 2024
18. Peter Simons, Trooi **19**, 147 (2000)
19. Peter Simons, Philos. Phenomenol. Res. **LIV**(3), 553 (1994)