

## تقارن : کلید شناخت کیهان



**Symmetry:** the key to recognizing the cosmos  
اگر مغز خود کیهان‌آسا نبود، کیهان هرگز بدان راه نمی‌یافت.

### چکیده:

دست‌آوردهای علمی - فنی یک قرن گذشته بخوبی نشان می‌دهند که نظریه کوانتوم و نظریه نسبیت (خاص و عام) توان توضیح ساختارها و فعل‌وانفعالات کیهان (cosmos, universe) در اندازه‌های بسیار کوچک (ذرات مادون اتم‌ها) و در اندازه‌های بسیار بزرگ (تقریباً تا انتهای گیتی یا کیهان قابل مشاهده) را دارند. با این حال لازم است بدانیم که میان این دو نظریه تناقض انکارناپذیری وجود دارد. این تناقض از همان ابتدای ظهور نظریه کوانتوم و نظریه نسبیت وجود داشت و کماکان به قوت خود باقیست. یعنی ما نتوانستیم در طول یک قرن تلاش بی‌وقفه آن را برطرف نمائیم. بی‌تردید چنین تناقضی در دانش بنیادی ما معنائی جز آن ندارد که نظریه‌های موجود نمی‌توانند حرف آخر باشند. به بیان دیگر، تناقض میان کوانتوم و نسبیت فقدان شناخت کافی ما از کیهان را آشکار می‌کند.

تلاش یک قرن گذشته فیزیکدان‌ها برای ارائه‌ی یک نظریه عام پایه‌ای، به اصطلاح یک "فرمول جهانشمول"، که توان بازگویی دست‌آوردهای موجود، رفع تناقض ذکر شده و پاسخ‌دهی به پرسش‌های بی‌پاسخ مانده در باره‌ی کیهان را داشته باشد تاکنون به نتیجه نرسیده است. آلبرت اینشتین<sup>۱-۸</sup>، ورنر هایزنبرگ<sup>۹</sup> و فیزیکدانان بسیاری دیگر قدم‌هایی را در این راه برداشتند بی‌آن‌که به پاسخ نهایی دست‌یابند. با این حال ما هیچ راهی جز ادامه‌ی جستجو و تحقیق نداریم. یافتن یک نظریه عام پایه‌ای عاری از تضاد ضروری است. چرا که در غیراین‌صورت ما درک درستی از ساختار و عملکرد گیتی نخواهیم داشت. امری که هیچ اندیشمندی، به‌ویژه هیچ فیلسوف جدی، نمی‌تواند خواهان آن باشد.

در این مقاله می‌کوشم نشان دهم که کلید شناخت کیهان، طبق شواهد تجربی و نظری، در گرو بکارگیری تقارن‌هاست. دستیابی به یک نظریه عام با یاری تقارن‌ها دور از تصور نیست. نظریه‌ای که کوانتوم و نسبیت را به‌عنوان نظریه‌های خاص دربرگیرد، تناقض میان این دو را برطرف نماید و جوابگوی پرسش‌های بی‌پاسخ‌مان باشد. اما لازمی اجرای این امر مهم شناخت کافی از مفهوم و عملکرد تقارن است. مفهومی که از هزاران سال پیش توجه فیلسوفان، دانشمندان و هنرمندان (موسیقی، نقاشی، معماری و ...) را بخود جلب نموده و در حال حاضر در مرکز پژوهش‌های نظری به‌ویژه علوم پایه قرار دارد.

## پیش‌گفتار:

مفهوم تقارن نقش اساسی در شناخت ما از پدیده‌ها دارد. نگاه و برداشت ما، در بسیاری از موارد ناآگاهانه، متأثر از بافت تقارن‌گونه‌ی گیتی است. لذا می‌توان تصور نمود که ساختار مغز ما و عملکردش با ساختار و عملکرد گیتی هم‌سو و هم‌آهنگ می‌باشد.

تقارن (symmetry) در عرصه‌های گوناگون طبیعت، جاندار و بی‌جان، مشاهده می‌شود: در گیاهان، جانوران و ساختارهای بزرگ و کوچک مانند کهکشان‌ها، ستارگان، سیارات، بلورها، مولکول‌ها، اتم‌ها و غیره. هر یک از این ساختارها نظم خاص، تقارن خاص، خود را دارند. برای مثال، اندام آدمی و اعضای آن (ارگان‌ها، بافت‌ها، سلول‌ها و مولکول‌ها) هر کدام بشکلی دارای تقارن هستند. با توجه به حضور تقارن‌ها در ساختارهای طبیعی بررسی 'فلسفه طبیعی' \* با مفهوم تقارن بدیهی می‌نماید. مطلبی که تنها منحصر به عصر ما نمی‌شود، چرا که پیشینیان ما از هزاران سال قبل به اهمیت تقارن‌ها پی‌برده و با بهره‌گیری از آن‌ها آثار قابل ملاحظه‌ای را نیز آفریده‌اند. درک اهمیت مفهوم تقارن و استفاده وسیع از آن در بررسی‌های نظری علوم پایه، خاصه علم فیزیک، سبب توسعه سریع این علوم و همچنین دست‌آوردهای فنی - صنعتی بیشمار در یک قرن گذشته شده است.

\* منظور از 'فلسفه طبیعی' علم فیزیک به‌معنای دوران باستان (علم مربوط به کل طبیعت) است که رشته‌های مختلف، مانند شیمی، بیولوژی، فیزیک (به‌معنای امروزی آن) و ... را دربرمی‌گرفت.

مهم است که بدانیم پژوهش 'فلسفه طبیعی' با یاری مفهوم تقارن به ما امکان می‌دهد که وحدت غیرقابل رؤیت شده بین علوم مختلف را دوباره نمایان کنیم. و یا حداقل فاصله‌ی ایجاد شده بین رشته‌های علمی گوناگون در طول قرن‌های اخیر، به‌ویژه میان دانش فلسفه و علوم پایه، را با "زدن پل‌های ارتباطی" ("پل‌های تقارنی")، کمتر نماییم.

مفهوم تقارن از قرن بیستم در مرکز توجه خاص فیزیکدانان نظری قرار دارد. به این خاطر که شواهدی نشان می‌دهند که می‌توان با بهره‌گیری از مفهوم تقارن به یک نظریه عام و پایه‌ای در باره‌ی گیتی دست‌یافت. نظریه‌ای که قادر به توضیح چگونه شکل‌گیری ساختارها در کیهان و فعل و انفعالات میان آن‌ها باشد. در این حالت انسان موفق شده است که به آرزوی دیرینه‌ی خود، طبق شواهد تاریخی از زمان پیش‌سقراطیان (طالس ۲۶ قرن پیش)، جامعه عمل بپوشاند: آرزوی دستیابی به یک نظریه عام پایه‌ای (قانون عام یا به تعبیر متفکران دوران باستان "عنصر واحد"). نظریه عامی که سوای عاری بودن از تضاد بتوان از آن قوانین پایه‌ای شناخته شده را استنتاج نمود، یعنی محیط بر نظریه کوانتوم و نظریه نسبیت باشد و امکان شناخت بیشتر از کیهان را نیز بدهد. شاید یک چنین نظریه‌ی عامی 'نظریه گرانش کوانتوم' باشد. به هر حال، انجام این کار بزرگ بر عهده‌ی فیزیکدان‌هاست.

## مفهوم تقارن در دوران باستان

شواهد بسیاری از دوران باستان نشان می‌دهند که انسان قرن‌ها قبل از برپایی علوم چهارگانه فیثاغورثی (هندسه، حساب، نجوم و موسیقی) مجذوب فرم‌های مختلف تقارنی‌شکل در طبیعت بوده و با الهام‌گیری و الگوبرداری از آن‌ها اثرهای هنری فراوانی نیز آفریده است. و در ادامه توانسته با کسب شناخت بیشتر از تقارن‌ها و رابطه‌ی میان آن‌ها که البته قرن‌ها به درازا کشید علوم چهارگانه‌ی نامبرده را ارائه دهد. دست‌آوردهای شگرفی که تقارن در ساختار آن‌ها براحتی قابل ملاحظه است.

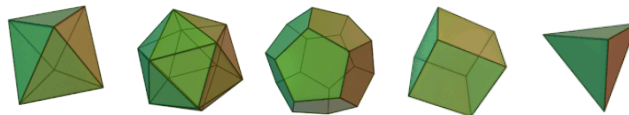
در علوم چهارگانه فیثاغورثی روش تحقیق بسیار مؤثر و بی‌همتائی ملاحظه می‌شود: روش توضیح منطقی یا روش ریاضی با توان فوق‌العاده بالا برای بررسی‌های نظری! اما شوربختانه این شیوه‌ی

تحقیق چند صدهای بیش به طول نینجامید، به علی که توضیح‌شان در مجال این مقاله نمی‌باشد.

با این حال روش توضیح منطقی توانست دوباره پس از گذشت نزدیک به پانزده قرن (!!) جایگاه شایسته‌ی خود را پیدا کند و توسعه یابد. این روش عالی‌ترین روش تحقیق نظری، جنب روش تجربی، محسوب می‌شود و در صدهای اخیر سبب توسعه شایان توجه علوم و فنون مختلف گشته است.

در دوران باستان ریاضیات و 'فلسفه طبیعی' علمی مجزا از هم تلقی می‌شدند. برای مثال ارسطو معتقد بود فیزیک، حرکت و تغییرات اجسام را بررسی می‌کند در حالی‌که ریاضیات با نامتغییرها (اندازه‌های ثابت) سر و کار دارد. قابل توجه است که مقوله‌های فلسفه طبیعی ارسطو برگرفته از مشاهدات محیط (انسان، حیوانات، گیاهان و ...) و عمدتاً غیرانتزائی هستند. در مقابل مقوله‌های فلسفه طبیعی فیلسوفان اتم‌گرای یونان بیشتر انتزائی‌اند. فیلسوفان اتم‌گرا و در درجه‌ی نخست دموکریت معتقد بودند که هستنده‌ها از اجزاء بسیار کوچک، ذرات غیرقابل تقسیم و غیرقابل مشاهده، به نام اتم تشکیل شده‌اند.

در تاریخ 'فلسفه طبیعی'، افلاطون اولین فیلسوفی بود که برای ذرات میکروسکوپی مدل‌های هندسی قائل شد. افلاطون عناصر چهارگانه دوران خود را تشکیل شده از اجسام منظم و متقارن از هندسه اقلیدسی، تصاویر پنجگانه‌ی زیر، تصور می‌نمود.



اشاره: نزدیک به ۲۴ قرن پیش و برای اولین بار در تاریخ فلسفه، افلاطون با طرح مقوله‌ی ایده تقارن مغز - ذهن را که تکاملی - تاریخی شکل‌گرفته است تخریب و نگاه غیرواقعی‌ای دوگانه بینی، یعنی جدائی جسم و روان، را مطرح می‌کند. بینشی غیرعلمی که هنوز هم باورمندان فراوانی دارد.

### مفهوم تقارن در قرون وسطی

'فلسفه طبیعی' و ریاضیات در قرون وسطی پیشرفت چندانی نداشتند، هر چند که این دوران نزدیک به ده قرن بطول انجامید. البته در دوره محدودی از این زمان طولانی پیشرفت‌هایی در ریاضیات (جبر)، نجوم (ستاره‌شناسی) و پزشکی، عمدتاً در نواحی آسیای غربی و میانه، ملاحظه می‌شود.

کیهان‌شناسی و ستاره‌شناسی دوران باستان و قرون وسطی بررسی موردی قانع‌کننده‌ای را در اختیار ما قرار می‌دهد. به این معنا که اطلاعات بدست آمده از این دو دوران بخوبی نشان می‌دهند که در بررسی‌های مربوطه از تقارن‌های فرضی هندسه اقلیدسی مانند دایره، کره و اجسام منظم متقارن دیگر استفاده و یافته‌ها با آن‌ها توجیه شدند. هرچه ما به عصر جدید نزدیکتر می‌شویم شاهد افزایش اهمیت و بکارگیری بیشتر از مفهوم تقارن و اشکال مختلف تقارن‌ها هستیم.

### مفهوم تقارن در عصر جدید

از آغاز عصر جدید دو شیوه‌ی تحقیق با توان فوق‌العاده بالا و در عین حال لازم و ملزوم هم اهمیت روزافزونی پیدا می‌کنند: آزمایش و استدلال ریاضی یا همان توضیح منطقی! با استفاده از این دو روش امکان تعریف مفهوم تقارن و با آن شناخت و توضیح ساختارها و روابط میان آن‌ها در دنیای بی‌جان و جاندار و بیان‌شان به زبان ریاضی و در نهایت تایید و یا ردشان از طریق آزمایش میسر می‌گردد. آنچه شیوه‌ی پژوهش این دوره را از دوران باستان متمایز می‌کند استفاده از روش آزمایش (گالیله) برای نشان دادن صحت یا رد ادعاهائی است که از طریق روش نظری، استدلال ریاضی (اقلیدس)

کسب می‌شوند. یافته‌هایی که از چنان پشتوانه‌ای برخوردار باشند علمی محسوب می‌شوند. با بهره‌جویی از این دو روش بلورشناسان توانستند در قرن هجدهم تعریف دقیق‌تری از مفهوم تقارن ارائه دهند.

استفاده از روش منطق ریاضی را یونانیان قدیم از جمله اقلیدس (ریاضی‌دان یونانی) حدود ۳ قرن پیش از میلاد در هندسه، حساب، نجوم و موسیقی آغاز کرده بودند. اما بدلایلی این روش کارساز با تاخیری باور نکردنی دوباره در عصر جدید مورد توجه قرار می‌گیرد. و از آن زمان تاکنون سبب توسعه نه تنها علم فیزیک بلکه علوم و فنون مختلف از جمله ریاضیات و خود منطق ریاضی شده است.

علم فیزیک با بیش‌ترین بهره‌گیری از دو روش ذکر شده، یعنی منطق ریاضی و آزمایش، بدرستی دقیق‌ترین علم از علوم طبیعی محسوب می‌شود. توان این علم در درک بیشتر و بهتر از پدیده‌های طبیعی در گرو امکانات ریاضی و آزمایشگاهی است که تا اواسط قرن هجدهم توسعه چندانی نیافته بودند.

توسعه علم هندسه و جبر، به‌ویژه از قرن نوزدهم به این سو، سبب شناخت باز هم بیشتر از مفهوم تقارن و کاربردش در علم فیزیک و علوم دیگر گردید. در سال ۱۹۱۸ امی نوتر<sup>۱۰</sup> Emmy Noether، خانم ریاضیدان آلمانی (۱۸۸۲-۱۹۳۵)، نشان داد که می‌توان اصل بقاء یا قانون بایستگی (Erhaltungssatz, conservation law) را با مفهوم تقارن توضیح داد، به تقارن‌ها رجعت داد (قضیه نوتر Noether's Theorem). برای مثال، اصل بقاء انرژی و یا اصل بقاء تکانه (ضربه) قابل ارجاع به تقارن زمان و فضا می‌باشند. در اینجا ما از یک طرف به اهمیت مفهوم تقارن و کاربرد آن و از طرف دیگر به زیبایی‌های نهفته در قوانین طبیعی پی‌می‌بریم.

اشاره: در قرن هجدهم امانوئل کانت، فیلسوف آلمانی (۱۷۲۴-۱۸۰۴)، در 'آثار نخستین' خود مسئله پاریته (parity)، برابری تقارن - راست - چپ، در طبیعت را مطرح می‌کند. کانت می‌کوشد از این طریق، یعنی با بهره‌جویی از مفهوم تقارن، ماده را توضیح دهد. او بر این نظر بود که ماده توسط نیروهای جذب و دفع کننده تعریف و تعیین می‌شود. جالب است بدانیم که اکنون پس از گذشت بیش از دو و نیم قرن از بیان کانت در فیزیک کوانتوم، صحبت از تعریف نیرو و تعیین آن با مقوله 'نسبت' (Beziehung, relationship) می‌شود.

### مفهوم تقارن در عصر معاصر

اهمیت مفهوم تقارن در عصر ما، به‌ویژه در علوم پایه و ریاضیات، در این است که امکان پیش‌گویی به ما می‌دهد. به این معنا که با یاری تعداد اندکی از تقارن‌ها می‌توان به پیش‌گویی‌های بسیار گسترده در این علوم پرداخت. برای مثال وقتی ما از طریق ریاضیات از وجود تقارنی در علم فیزیک مطلع می‌شویم، می‌توانیم آن را به مثابه قانونی که در طبیعت وجود دارد تلقی کنیم. بی‌تردید صحت یک چنین پیش‌گویی می‌باید از طریق آزمایش (تجربی) به اثبات برسد و بلعکس وقتی ما قوانینی از طبیعت را از طریق تجربه بدست می‌آوریم لازم است که این قوانین را با استفاده از علم ریاضی مستدل نمائیم. در هر دوی این روش‌ها می‌توان از قضیه امی نوتر استفاده نمود.

در بالا از دو اصل بقاء (انرژی و تکانه) نام برده شد بی‌آنکه تعریف شوند. در زیر پس از تعریف اصل بقاء و تقارن، توضیح شکست تقارن و قضیه امی نوتر و طرح دو پرسش به این دو اصل به‌عنوان مثال‌هایی از قوانین اصل بقاء که اهمیت فوق‌العاده‌ای در شناخت ما از طبیعت دارند می‌پردازم.

**تعریف اصل بقاء:** اصل بقاء در علم فیزیک گزاره‌ایست بیانگر ثابت ماندن اندازه یا مقدار یک کمیت فیزیکی مربوط به یک سیستم بسته در حین تغییر و تحول آن سیستم.

**تعریف تقارن:** حالت یک سیستم فیزیکی که در پی یک انتقال (transformtion) ثابت (invarianz) می‌ماند. برای مثال: دَوران نود درجه‌ای گوشه‌های یک مربع (گروه گسسته) و یا دَوران نقاط یک دایره دور مرکز دایره (گروه پیوسته) و یا ثابت ماندن فرم قوانین نیوتنی در انتقال میان سیستم‌های لختی. تشریح و بیان ریاضی تقارن‌ها در نظریه‌ای به نام نظریه گروه (group theory) ارائه می‌گردند.<sup>۱۲</sup>

**شکست تقارن:** تقارن و شکست تقارن (symmetry breaking) دو مقوله بسیار مهم و تعیین کننده برای درک و تشریح کنش‌وواکنش‌ها در سطوح مختلف طبیعت از ذرات بنیادی تا کل کیهان می‌باشند. بدون درک درست از مفهوم تقارن و شکست تقارن فهم شکل‌گیری کیهان و ساختارهای بیشمار آن ناممکن است. چرا که شکل‌گیری کیهان به شکست تقارن، شکست تقارن اولیه در آغاز کیهان، نسبت داده می‌شود. فیزیک حاضر شکست تقارن اولیه و شکست تقارن‌های بعدی را علت شکل‌گیری ۴ نیروی پایه‌ای (قوی، ضعیف، الکترومغناطیسی و گرانشی) در کیهان می‌داند. تلاش یک قرن گذشته‌ی فیزیکدان‌ها در ارائه نظریه‌ای که ۴ نیروی ذکر شده را در شکل یک نیروی واحد یا همان تقارن اولیه نشان دهد تاکنون به نتیجه نهائی نرسیده است. نتیجه‌ای که برای اثبات فرض تقارن اولیه ضروریست.

**قضیه امی نوتر:** قضیه نوتر کمیت‌های پایه‌ای فیزیکی، مانند انرژی و تکانه، را با خواص هندسی کنش\*\*، در انتقال تقارنی، مرتبط می‌داند. به بیان دیگر، قضیه نوتر می‌گوید: به هر سیستم (پیوسته‌ی) فیزیکی یک کمیت بایستگی تعلق دارد. و بالعکس، هر کمیت بایستگی زاینده‌ی، ژنراتور (generator)، یک گروه تقارنی است. \*\*کنش: یک کمیت فیزیکی است، مانند اندازه‌ی انرژی ضربدر زمان.<sup>۱۳</sup>

**پرسش:** چرا اصولاً قوانین بقاء وجود دارند؟ چرا به‌عنوان مثال، اصل بقاء انرژی یا قانون بایستگی انرژی در مورد کمیت انرژی، تحت شرایط ذکر شده، صدق می‌کند؟ آیا می‌باید قانون بایستگی انرژی را به‌عنوان یک قانون طبیعی بی‌چون‌وچرا پذیرفت؟ و یا آن را با روش منطقی توضیح داد؟

**پاسخ:** بی‌شک، نیاز به توضیح منطقی است. توضیح منطقی آن را قضیه‌ی امی نوتر ارائه می‌دهد، چنانچه تقارن متعلق به اصل مربوطه شناخته شده باشد. و بعکس، در صورت مطمئن بودن از صحت اصل بقاء می‌توان تقارن آن را (در صورتی که شناخته شده نباشد) شناسائی کرد. در واقع، اصل بقاء و تقارن، به مثابه دو روی یک سکه‌اند! این مطلب بسیار حائز اهمیت و قابل تامل است. با آگاهی به این امر مهم، مفهوم‌های تقارن و شکست تقارن در مرکز توجه فیزیکدان‌ها و ریاضی‌دان‌ها قرار گرفته‌اند. استفاده از واقعیت‌های ذکر شده سبب دست‌آوردهای شایان توجهی در عرصه‌های بسیار بغرنج علمی از جمله در دنیای کوانتوم، مانند کوانتوم کرومودینامیک، گردیده است.

**پرسش:** وقتی ما امروز قانونی را، برای مثال قانون بایستگی انرژی، کشف و از صحت آن اطمینان حاصل می‌کنیم، می‌دانیم که این قانون فردا نیز معتبر خواهد بود. اما از کجا می‌دانیم که این چنین می‌باشد؟ به بیان دیگر، چه چیزی یا چه چیزهائی سبب چنان اطمینانی در ما می‌شود؟

**پاسخ:** به پرسش ذکر شده می‌توان این‌گونه پاسخ داد: این را تجربه به ما آموخته است و یا اگر چنین نبود هیچ علمی نمی‌توانست شکل بگیرد و پایدار بماند و یا ما نمی‌توانستیم مطمئن باشیم دستگاهی که بر مبنای قانون کشف شده‌ی امروز کار می‌کند فردا نیز کار خواهد کرد؟ بی‌شک هر یک از این پاسخ‌ها را می‌توان درست تلقی کرد. اما در همه این پاسخ‌ها چیزی مفروض داشته شده است که یا براحتی قابل ملاحظه نیست و یا چنان بدیهی می‌نماید که پرسشی در ما ایجاد نمی‌کند. در نتیجه نیازی هم برای بررسی و توضیح آن نمی‌بینیم. مسلماً مختصات آن چیزی که مفروض داشته می‌شود تابع موضوعی است که مورد بررسی قرار می‌گیرد. ما می‌خواهیم صحت این گفته را از طریق مثال‌هائی که در زیر توضیح داده می‌شوند نشان دهیم و دریابیم آن چیزی که مفروض داشته می‌شود نامش **تقارن!** است.

## تقارن در زمان و اصل بقاء انرژی

در اصل بقاء انرژی (conservation of energy) آن چیزی که 'به طور طبیعی' مفروض داشته شده و صریحا به آن اشاره نشده **همگنی و تقارن در زمان** است. همگنی در زمان به این معناست که ما واحدهای زمان، فاصله‌های "تیک تاک" زمان، را مساوی هم تصور کرده‌ایم. بی آن‌که از خود پرسیده باشیم که آیا مجاز به آن هستیم و اگر آری تحت چه شرایطی و معنای آن چیست؟ گوئی بدیهی، روشن و بی‌نیاز از هر نوع توضیحی است که طول یک ثانیه گذشته را مساوی با طول یک ثانیه آتی بدانیم. ما حتی تا آن‌جا پیش می‌رویم که زمان گذشته و آینده را به کل متقارن هم تلقی می‌کنیم (پروسه‌های بازگشت‌پذیر). یعنی قوانین فیزیک را معتبر برای گذشته و حال و آینده، می‌انگاریم. با چه پشتوانه‌ای؟

تنها در صورت صحت داشتن همگنی و تقارن در زمان می‌توان مطمئن بود دستگاهی که با قانون بدست آمده‌ی امروز کار می‌کند فردا نیز طبق همان قانون کار خواهد کرد. اما اگر تصور ما مبنی بر مساوی بودن "تیک تاک" زمان صحت نداشته باشد هیچ الزامی برای عملکرد درست دستگاه وجود ندارد. به همین خاطر لازم است به این پرسش پاسخ دهیم که آیا ما مجاز هستیم همگنی و تقارن در زمان را پیش‌فرضی درست برای بررسی‌هایمان در نظر بگیریم؟ و چنانچه پاسخ مثبت باشد معنای آن چیست؟ و در چه محدوده‌ای معتبر است؟ و آیا می‌توان چنان فرضی را برای همه پدیده‌های طبیعی معتبر دانست؟

زمان را می‌توان برای محدوده‌ی ناچیزی از کیهان (برای مثال منظومه شمسی، آن هم در محدوده‌ای دور از خورشید) همگن و متقارن دانست. اما اگر بخواهیم خیلی دقیق باشیم بایستی همگنی و تقارن را در کل منظومه شمسی تقریبی در نظر بگیریم. در صورت چشم‌پوشی از ناهم‌آهنگی قابل اغماض در آن، خاصه در اطراف کره زمین، ما عملا با زمانی سروکار داریم که به آن **زمان مطلق** می‌گوئیم. برای یک چنین وضعیتی ما زمان را با تیک تاک‌های منظم و یکنواخت و متقارن برای گذشته و آینده در نظر گرفته‌ایم. و این حالت همان چیزی است که برای اصل بقاء انرژی مفروض داشته‌ایم. یعنی، مقدار انرژی یک سیستم بسته تابع زمان نیست و در نتیجه همواره ثابت می‌ماند؛ بقاء دارد: اصل بقاء انرژی!

## تقارن در فضا و اصل بقاء تکانه

اصل بقاء تکانه (conservation of momentum) یکی دیگر از دو اصل مهم و معروفی است که در بالا از آن نام بردیم. در این اصل نیز، مانند اصل بقاء انرژی، صحت چیزی مفروض داشته شده است که به قانون بایستگی تکانه (ضربه) اعتبار می‌بخشد. و آن فرض **همگنی و تقارن در فضا** می‌باشد. به این معنا: رفتار یک جسم فیزیکی از جانب کمیت‌های فیزیکی‌ای که جسم در مکان A دارد تعیین می‌گردد، و نه از خود آن مکان! یعنی، اندازه‌ی ضربه‌ی جسم در یک مکان دیگر B، با همان کمیت‌های فیزیکی پیشین، ثابت می‌ماند. به بیان دیگر، اندازه‌ی ضربه مستقل از مکان A و یا مکان B کمیتی است ثابت؛ بقاء دارد. به این دلیل که در اینجا نیز مانند حالت مشابه آن در اصل بقاء انرژی در رابطه با زمان، همگنی و تقارن در فضا مفروض داشته شده است، یعنی **فضا مطلق** مفروض شده است.

تذکر: در مورد سایر کمیت‌ها، مانند **تکانه‌زاویه‌ای**، که مورد بحث ما نیستند، همسان‌گردی (isotropy) در فضا نیز مفروض داشته می‌شود. همسان‌گردی یعنی، تابع جهت خاصی از فضا نبودن یک کمیت فیزیکی.

## جمع‌بندی نکات ذکر شده تا کنون

« انرژی کل و تکانه کل یک سیستم فیزیکی ثابت می‌ماند چنانچه سیستم کنش و واکنشی با محیط نداشته باشد، یعنی سیستمی بسته باشد. این دو اصل در تمام حوزه‌های فیزیک بطور نامحدود معتبر می‌باشند.

« اصل بقاء انرژی و اصل بقاء تکانه مستقل از یکدیگر صحت دارند. تکانه در فیزیک نیوتنی کمیته است که از حاصل ضرب جرم یک جسم با سرعت آن بدست می‌آید. لازم به تاکید است که ما این دو اصل را، به‌عنوان مثال‌هایی از قوانین بایستگی، صرفاً به‌خاطر توضیح ساده آن‌ها انتخاب کردیم.

« فقدان تقارن در قانونی از طبیعت پژوهش‌گر را به‌شک و تردید در صحت و لزوم بررسی دوباره‌ی آن وامی‌دارد. چرا که تجربه نشان داده که تقارن جزو مشخصه بارز تقریباً همه قوانین طبیعی است.

« حضور تقارن‌ها در قوانین علوم پایه امریست طبیعی اما خواهان تقارن کامل بودن (صد در صد متقارن) در هر حالتی هم جایز نمی‌باشد. به این دلیل ساده که در یک تقارن کامل امکان کنش و واکنشی‌هایی که منجر به شکل‌گیری ساختار یا ساختارهایی شود وجود ندارد. یعنی تا زمانی که به یک تقارن، کامل تلنگری (به هر شکل قابل‌تصوری) زده نشود هیچ اتفاقی نخواهد افتاد. گفته می‌شود که کیهان پیش از شروع به انبساط در حالت تقارن کامل بوده است (؟). در این‌صورت لازم است به این پرسش پاسخ داده شود که چه تلنگری سبب شکست تقارن کامل، تقارن اولیه، آن شده است؟

« در پی شکست تقارن اولیه کیهان می‌باید که شکست تقارن‌های دیگر نیز رخ داده باشند. چرا که در غیراین‌صورت انبساط کیهان و شکل‌گیری ۴ نیروی ذکر شده، یعنی نیروی قوی، نیروی ضعیف، نیروی الکترومغناطیسی و نیروی گرانشی، قابل توجیه نیستند. چهار نیروی که بی‌شک در کل کیهان حضور دارند و سبب شکل‌گیری ساختارهای گوناگون می‌شوند، مانند هسته اتم‌ها، عناصر شیمیایی، ستارگان، کره زیبای آبی رنگ ما و ....

### تقارن در نسبیت خاص و اصل بقاء انرژی-تکانه

**اصل نسبیت گالیله:** این اصل می‌گوید، تمام قوانین طبیعی نشان از تقارن دارند و این برای فیزیک نیوتنی به آن معناست که فرم قوانین آن در انتقال از یک سیستم یکنواخت با سرعت  $v_1$  به یک سیستم یکنواخت دیگر با سرعت  $v_2$  تغییر نمی‌کند.<sup>۱۴</sup>

**مثال:** در هواپیمائی که با سرعتی نزدیک به سرعت صوت، سرعتی بسیار کوچک‌تر از سرعت نور، در حال حرکت است قوانین فیزیک نیوتنی همان‌هایی هستند که در زمین نیز شاهدیم. این مثال بخوبی تقارن موجود میان دو سیستم ذکر شده را نشان می‌دهد.

**اصل نسبیت اینشتین:** اینشتین با علم به ثابت بودن سرعت نور، به‌عنوان یک کمیت ثابت کیهانی، اصل گالیله را با ملاحظه‌ی این کمیت گسترش می‌دهد و آن را برای تمام قوانین فیزیک (نسبیتی خاص) صادق می‌داند با پیامدهای بسیار شایان توجه مانند: اتساع زمان، انقباض طول و نسبی بودن هم‌زمانی.<sup>۱۵</sup>

از نتایج مهم اولیه‌ی فیزیک نسبیت خاص می‌توان برای مثال از دو پدیده‌ی به اثبات رسیده نام برد: هم‌ارز بودن جرم و انرژی طبق فرمول مشهور  $E = mc^2$  و اثر فوتوالکتریک که خصلت موجی - ذره‌ای نور را به نمایش می‌گذارد. در نظریه نسبیت خاص، فضا و زمان بهم پیوسته (۴بعدی) تلقی می‌شود و ما آن را به شکل فضای زمان می‌نویسیم.

**مثال:** مثال معروف، پارادکس دوقلوه‌هاست که بسیار مورد توجه عموم می‌باشد ولیکن ما از شرح آن، به‌خاطر آن‌که براحتی از جمله در اینترنت قابل دسترسی است صرف‌نظر کرده و موضوع خود، یعنی مفهوم تقارن را با مثال‌های اصل بقاء انرژی و تکانه دنبال می‌کنیم.

**هم‌ارزی انرژی و جرم و اصل بقاء:** با توجه به هم‌ارز بودن انرژی و جرم، بدیهیست که اصل بقاء انرژی را اصل بقاء جرم و اصل بقاء جرم را اصل بقاء انرژی تلقی کنیم. **اصل بقاء جرم** می‌گوید: جرم

کل یک سیستم بسته تغییر نمی‌کند. در فیزیک نیوتنی اصل بقاء جرم مستقل از اصل بقاء انرژی بیان می‌شود. اما در فیزیک نسبیتی، به خاطر پیوستگی فضا-زمان، هم‌ارزی انرژی و جرم، بیان یکی از این دو برای مثال اصل بقاء انرژی (و یا اصل بقاء جرم) کافی است. در چنین حالتی لازم است اشکال مختلف انرژی سیستم مورد بررسی در نظر گرفته شوند، از آن جمله‌اند جرم و انرژی حرکتی آن.<sup>۱۶</sup>

**جرم، حرکت و اصل بقاء:** اندازه‌ی جرم در نسبیت، تابع سرعت است اما در فیزیک نیوتنی تنها به‌عنوان یک ضریب ثابت شناخته شده است. برای مثال، در کمیت‌های تکانه و یا نیرو در مکانیک کلاسیک.

**اصل بقاء انرژی-تکانه:** تکانه (جرم ضربدر سرعت) در نسبیت، به دلیل تابعی از سرعت بودن جرم و جرم به دلیل هم‌ارز بودنش با انرژی، کمیتی در هم‌تنیده را با انرژی به نام انرژی-تکانه تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر، ما در این‌جا شاهد حضور اصل بقاء انرژی و اصل بقاء تکانه در اصلی در هم‌تنیده به نام اصل بقاء انرژی-تکانه هستیم که می‌گوید انرژی-تکانه کل یک سیستم بسته ثابت می‌ماند، بقاء دارد.<sup>۱۷</sup>

**شکست تقارن فضا-زمان:** تصور فضا و زمان مطلق از تجربه‌ی روزمره ما حاصل شده است. ما بی‌آن‌که آگاه باشیم اقدام به شکست تقارن فضا-زمان نسبیتی<sup>۴</sup> بعدی به زمان<sup>۱</sup> بعدی و فضای<sup>۳</sup> بعدی گالیله‌ای - نیوتنی نمودیم. بی‌شک یک چنان تصویری، شکست تقارن اصل بقاء انرژی-تکانه<sup>۴</sup> بعدی نسبیت به اصل بقاء انرژی<sup>۱</sup> بعدی و اصل بقاء تکانه<sup>۳</sup> بعدی کلاسیک (نیوتنی) را در پی دارد. اما این برداشت به دلایلی که در بخش تقارن در زمان و اصل بقاء انرژی، ذکر شد نه تنها خللی در امور عادی ما، در چهارچوب فیزیک نیوتنی، وارد نمی‌کند بلکه بعکس (عمدتاً) به سهولت انجام آن‌ها نیز می‌انجامد.

### تقارن در نسبیت عام و اصل بقاء انرژی-تکانه

تذکر: از خواندن این بخش می‌توان به‌خاطر مقوله‌های خاص و پیچیدگی‌های ویژه آن، نیازمند توضیحات گسترده که در این مقاله مجال آن نیست، صرف‌نظر نمود بی‌آن‌که مانع فهم موضوع بخش پایانی مقاله شود.

نظریه نسبیت عام اینشتین توصیف نیروی گرانشی، کنش و واکنش ماده و فضا-زمان<sup>۴</sup> بعدی، به زبان هندسه ریمانی (فضا-زمان انحنا دار) است. این نظریه به ما امکان می‌دهد که تکامل کیهان را با بهره‌جویی از معادلات دیفرانسیالی اینشتین توضیح دهیم. لازم به تأکید است که در نظریه نسبیت عام تمام کمیت‌های فیزیکی قابل اندازه‌گیری مستقل از سیستم مرجع هستند (مستقل از هر دستگاه مختصات دلخواهی). معنای این گفته آن است که نظریه نسبیت عام از یک **تقارن بنیادی** برخوردار می‌باشد!

اشاره: از نظریه نسبیت عام می‌توان و بایستی بتوان برای مقادیر کوچک (فضا-زمان، جرم و سرعت) نظریه نسبیت خاص و فیزیک نیوتنی (نیروی جاذبه) را استنتاج نمود.<sup>۱۷</sup> و این مطلب ثابت شده است.

معادلات نسبیت عام، معادلات دیفرانسیالی اینشتین، معادلاتی هستند برای ۱۰ جزء مستقل متریک. معادلاتی که بیانگر رابطه‌ی میان خواص هندسی فضا-زمان انحنا دار، طرف چپ معادله، و تانسور انرژی-تکانه، طرف راست معادله، می‌باشند. "منشاء" انحنا فضا-زمان، تانسور انرژی-تکانه ماده است. در مقایسه با توضیحات بخش‌های پیشین، در این‌جا هر یک از اجزاء تانسور ذکر شده بطور مجزا نقش "منشا" برای گرانش را بازی می‌کنند. اما در قانون جاذبه نیوتن تنها جرم و یا در الکتروستاتیک بار الکتریکی نقش منشا را بازی می‌کنند.

**بقاء انرژی-تکانه در نسبیت عام مشروط به برابر با صفر شدن مشتق هموردای (covariant derivative) تانسور انرژی-تکانه است.**



## تقارن در کوانتوم و اصل بقاء انرژی تکانه

مقولات و قوانین فیزیک کلاسیک عمدتاً از طریق مشاهدات و سنجش‌های دنیای ماکروسکوپی بدست آمده‌اند. به بیان دیگر، کل معادلات پایه‌های نظریه‌های کلاسیک بر مبنای کمیت‌های فیزیکی قابل اندازه‌گیری (دقیق) طراحی شده‌اند. تا پایان قرن نوزدهم انسان بر این باور بود که می‌توان کمیت‌های فیزیکی را دقیقاً سنجید. اما این باور، این تصور ایده‌آل، با مشکلات اصولی فیزیکی - فلسفی مواجه شد که در نهایت منجر به محدود شدن دایره اعتبار فیزیک کلاسیک و ظهور فیزیک کوانتوم گردید. فیزیک کوانتوم با ارائه راه حل ماکس پلانک برای مسئله‌ای از علم ترمودینامیک در سال ۱۹۰۰ آغاز شد و توانست در مدت زمان کوتاهی به نتایج بی‌نظیری در تاریخ علم، شناخت از ذرات بنیادی (جهان اتم‌ها و مادون‌اتم‌ها)، دست‌یابد بگونه‌ای که ما اکنون قادریم کل دنیای میکروسکوپی را توسط تنها ۳ تقارن توضیح دهیم: از طریق ۳ نیرو به نام‌های نیروی قوی، نیروی ضعیف و نیروی الکترومغناطیسی.

در بالا (بخش جمع‌بندی) گفته شد: "در پی شکست تقارن اولیه کیهان می‌باید که شکست تقارن‌های دیگر نیز رخ داده باشند. چرا که در غیر این صورت انبساط کیهان و شکل‌گیری ۴ نیروی ذکر شده، یعنی نیروی قوی، ضعیف، الکترومغناطیسی و گرانشی، قابل توجیه نیستند."

مدل استاندارد ذرات بنیادی چکیده‌ی دست‌آوردهای یک قرن گذشته انسان از دنیای کوانتومی، از ذرات بنیادی، است که در آن از جمله ۳ تقارن نام برده، در شکل یک نظریه جامع ارائه می‌شود. در نیمه دوم قرن بیستم انسان موفق شد ۲ نیروی ضعیف و نیروی الکترومغناطیسی را تحت عنوان نیروی الکتروضعیف به وحدت، به تقارن، برساند. قدم بعدی به وحدت رساندن نیروی الکتروضعیف با نیروی قوی می‌باشد که شانس عملی شدنش در آینده‌ای نه چندان دور، به دلیل آن‌که هر ۳ نیرو کوانتیزه شده هستند، وجود دارد. تنها نیروی کوانتیزه نشده از ۴ نیروی پایه‌ای علم فیزیک نیروی گرانشی است. تا کنون امکان کوانتیزه کردن این نیرو بوجود نیامده و شاید هم هرگز بوجود نیاید. این وضع چشم‌انداز وحدت ۴ نیروی پایه‌ای به تقارن اولیه را تیره کرده است. این مشکل همان مطلبی است که در آغاز مقاله از آن به عنوان تناقض میان کوانتوم و گرانش نام بردیم. (ما آگاهانه از ورود به نظریه ریسمان‌ها و انرژی تاریک، به خاطر فقدان شواهد قانع کننده، دوری جستیم.)

اشاره: 'مدل استاندارد ذرات بنیادی' یک 'نظریه کوانتومی' است. ابژکت‌های اصلی آن را میدان‌ها تشکیل می‌دهند. میدان‌ها تنها در شکل "بسته‌های" گسسته، به مثابه "ذرات"، تغییر می‌کنند. میدان‌ها و ذرات تابع قوانین نسبیت خاص هستند.<sup>۱۸</sup>

در دنیای کوانتوم نیز فضا زمان را با مشخصه‌هایی که برای فیزیک نسبیتی خاص بیان کردیم در نظر می‌گیریم. یعنی قوانین بایستگی انرژی، تکانه و انرژی تکانه در کوانتوم فیزیک نیز از فرض‌هایی حاصل می‌شوند که پیش‌تر برای فضا و زمان قائل شدیم و با تعریف‌های ذکر شده در بالا.

## سخن پایانی

همان‌گونه که در ابتدای مقاله بیان کردم هدف از نگارش مقاله حاضر این است که "نشان دهم که کلید شناخت کیهان، طبق شواهد تجربی و نظری، در گرو بکارگیری تقارن‌هاست. دست‌یابی به یک نظریه عام با یاری تقارن‌ها...". برای این منظور دو قانونی را که همواره در کنش و واکنش‌های طبیعی حضور دارند به عنوان مثال انتخاب کرده (قانون بقاء انرژی و قانون بقاء تکانه) و نشان دادم که چه نقش تعیین کننده‌ای مفهوم تقارن در قوانین طبیعی دارد. در ادامه دیدیم که از ۴ نیروی پایه‌ای مشتق شده از تقارن اولیه کیهان ۳ نیروی کوانتیزه شده با یاری تقارن‌ها وحدت پذیراند و تلاش برای دست‌یابی به وحدت هر ۴ نیرو تا کنون به نتیجه نرسیده است. آیا تقارن بزرگ چنان بدیهی می‌نماید که آن را نادیده می‌گیریم؟

