حکمت اسلامی
فصلنامه علمی ـ پژوهشی
سال دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۴
تاریخ دریافت مقاله: ۱٤۰۳/٤/۱٤
تاریخ تأیید مقاله: ۱٤۰۳/۱۰/۹

راه حلی فلسفی برای برون‌رفت از چالش پیکان زمان و تقارن معکوس زمانی

رضیه برجیان[۱]، زینا حق‌گویان[۲]، وحیده اکرمی[۳]

چکیده

مشاهده جهت مرجّح حرکت جسم برای تحقق پدیده‌های فیزیکی در کنار ناوردایی معادلات فیزیکی تحت تبدیل معکوس زمانی، چالشی را پیش روی فیزیک‌دانان قرارداده است که با عنوان «پیکان زمان» شناخته می‌شود. در این مقاله با روشی تحلیلی- تطبیقی و تکیه بر فلسفه اسلامی راه حلی برای این مسئله ارائه می‌دهیم. با توجه به این نکته که حرکت، هم در خارج و هم در ذهن ممکن است؛ زمان را که عارض حرکت می‌باشد نیز می‌توان به تبع آن، به زمان خارجی و زمان مقدر تقسیم کرد. زمان خارجی جهت رو به جلو را برای پدیده‌های خارجی ضروری می‌شمارد. در صورتی که با تغییر مبدأ و مقصد برای حرکت ذهنی و مقدر، آن را متقارن با حرکت خارجی می‌یابیم و از این تقارن در حرکت، مفهوم تقارن معکوس زمانی را فیزیک‌دانان استخراج می‌کنند. این رویکرد می‌تواند به خوبی راه حلی را برای برون‌رفت از چالش «پیکان زمان» ارائه دهد.

واژگان کلیدی: تقارن زمان، ناوردایی تحت تبدیل معکوس زمان، پیکان زمان.

۱. کارشناسی ارشد فیزیک دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکزی rborjian@gmail.com
۲. دانشجو دکترای رشته فیزیک ذرات بنیادی دانشگاه شهیدبهشتی zinahaghgooyan@ymail.com
۳. دکترای کلام اسلامی دانشگاه قم v.akrami@iran.ir

نحوه استناد: برجیان، رضیه؛ حق‌گویان، زینا؛ اکرمی، وحیده (۱۴۰۴).
«راه حلی فلسفی برای برون‌رفت از چالش پیکان زمان و تقارن معکوس زمانی»، *حکمت اسلامی*، ۱۲ (۴)، ص۱۷۸-۱۵۹.

مقدمه

مفهوم زمان یکی از مفاهیم پایه در فیزیک است؛ مفهومی پیشینی برای این علم. اخیراً به مشکلات مربوط به مفهوم زمان توجه گسترده‌ای شده است. برخی از این مشکلات عبارتند از: نقش زمان در گرانش کوانتومی، انتخاب زمان ویژه در نسبیت عام، منشأ «پیکان زمان» و عدم تقارن زمانی در کیهان‌شناسی (C Rovelli, 1995, p82).

باید توجه داشت تقریباً از آغاز فیزیک تاکنون بحث‌ها پیرامون ماهیت زمان و ویژگی‌های آن ادامه دارد. بحث‌هایی که قبل و بعد از آن نیز در فلسفه مطرح بود. بعد از طرح فضا و زمان مطلق و مستقل از اجسام توسط نیوتن (نیوتن، ۱۳۹۵، ص۳۱-۳۲) و تثبیت اندیشه وی، طرح قضیه H بولتزمن در سال ۱۸۷۲ و تفسیر آماری او از آنتروپی در سال ۱۸۷۷ سر منشأ بحث‌های جدی درباره پیکان زمان شد؛ بحث‌هایی که تا به امروز نیز به عنوان یک مسئله باز در فیزیک مطرح است. این بحث سبب چالش‌های عمیق‌تری شد تا جایی که در سال ۱۹۹۱، در کنفرانس «درباره ریشه‌های فیزیکی عدم تقارن زمانی» باربور سؤال زیر را مطرح کرد: «آیا شما معتقدید زمان یک مفهوم بنیادی است که باید در پایه‌های هر نظریه‌ای درباره جهان وجود داشته باشد یا مفهوم مفیدی است که می‌توان آن را از مفاهیم ابتدایی‌تر به همان روشی استخراج کرد که مفهوم دما را می‌توان در مکانیک آماری بازیابی کرد؟».

استخراج یک پیکان زمان از دینامیک میکروسکوپی متقارن معکوس زمانی، یکی از تلاش‌هایی است که برای حل این چالش پیگیری می‌شود (Strasberg and Winter, 2021, p030202). تعدادی از مدل‌ها تلاش می‌کنند تا با استفاده از فرض وجود یک شرایط اولیه خاص با آنتروپی پایین در زمان تورم، پیکان زمان را توضیح دهند (Albert, 2000, p. 192؛ فتحعلیان، نرگس، منصوری، علیرضا، ۱۳۹۹، ص۱۷۱-۱۹۳). مدل‌های ناظر به تجزیه و تحلیل اثر نیروهای گرانشی (Carroll and Chen, 2005, p. 2335-2339) (Barbour, Koslowski and Mercati, 2014, p.181101) به پیامدهای بزرگ‌مقیاس نقض تقارن معکوس زمان (Vaccaro, 2016 p.20150670؛ Ibid, 2011, p.1569-1596) می‌پردازند. در مقیاس‌های کوچکتر، به اصطلاح «پیکان ترمودینامیکی زمان» سیستم‌های ترمودینامیکی را مشخص می‌کند و با قانون دوم و ظهور برگشت‌ناپذیری ماکروسکوپی مرتبط است. قضیه مشهور H بولتزمن (Boltzmann, 1970, p.115-225) بهترین تلاش برای استخراج قانون دوم با استفاده از احتمال بود که وشمیت (Bader and Parker, 2001, p.45-50) و زرملو (Steckline, 1998, p.894-897) آن را زیر سؤال بردند. اولی استدلال کرد که تقارن معکوس زمانی نشان می‌دهد برای هر مسیر در هر سیستمی یک مسیر معکوس زمان وجود دارد که در آن H افزایش می‌یابد. دومی این استدلال را مطرح کرد که هر

سیستم محدودشده باید بازگشت‌های پوانکاره را نمایش دهد (Roduner, Emil, and Tjaart PJ Krüger,2022, p.1-43). رویکردهای مختلفی برای به دست آوردن قانون دوم ترمودینامیک برای سیستم‌های باز پیشنهاد شده است، از جمله ویژگی‌های آماری مجموعه‌ها از اصول اولیه (Popescu, et al ,2006, p. 754-758؛ Goldstein, et al,2006, p. 050403) تا اتخاذ چارچوب‌های نظریه اطلاعات (Goold, et al,2016, p. 143001) یا نظریه سازنده (Marletto, et al, 2022, p. 080401؛ Deutsch, 2013, p.4331-4359). در کنار تمامی این ایده‌های فیزیکی شاهد ایده‌هایی با غلبه پیش‌فرض‌های متفاوت فلسفی هستیم، مثل زمان چندسطحی الیس (Ellis, G. F. R. 2013, p. 242-262) و استخراج پیکان زمان از بی‌زمانی (Barbour,1994, p.405-414) و این اندیشه که فرآیندهای نامتقارنِ زمانی، فرآیندهایی هستند که در زمان نامتقارن هستند و این عدم تقارن ربطی به عدم تقارنِ خود زمان ندارد. به عبارت دیگر، عدم تقارن‌هایی مانند عدم تقارن آنتروپی و تابشی، عدم تقارن در زمان محسوب می‌شوند، نه عدم تقارنِ خود زمان (نرگس فتحعلیان و علیرضا منصوری، ۱۴۰۱، ص۱۹۲).

در این مقاله برآنیم تا با تکیه بر فلسفه اسلامی و مفاهیم متعدد پیرامون زمان که در فلسفه اسلامی مطرح شده‌اند، راه حلی برای برون‌رفت از این چالش پیشنهاد کنیم و نشان دهیم ویژگی‌های مختلفی را که در فیزیک برای زمان مشاهده می‌کنیم به ویژه اینکه معادلات فیزیک نسبت به زمان متقارن هستند (ناوردای تقارن معکوس زمانی هستند) در حالی که پدیده‌های فیزیکی مشاهده‌شده چنین نیستند؛ ریشه در خلط‌های دو مفهوم متمایز برای واژه «زمان» و فهم رابطه حرکت با زمان دارد. در بخش اول این مقاله به بررسی زمان از منظر فیزیک و فلسفه پرداخته و سپس به بررسی آنچه به عنوان مصادیق پیکان زمان در فیزیک پنروز دسته‌بندی کرده و پذیرش عام یافته است می‌پردازیم و نشان می‌دهیم تمامی این موارد را می‌توان با کمک دقت‌های فلسفی موجود در فلسفه اسلامی توضیح داد.

۱. مفهوم پیکان زمان در فیزیک

هزاران تجربه روزمره مانند فرآیند آب شدن یخ و ریختن آب وجود دارد که مفهوم «قبل از» و «بعد از» را می‌سازند. بر اساس تجربه روزمره به نظر می‌رسد تفاوتی بین گذشته و آینده وجود دارد که آن را «پیکان زمان« می‌نامیم. باید توجه داشت که از بدو پیدایش علم فیزیک مفهوم زمان دچار تحولات مختلفی گشته است؛ از اینکه زمان ظرفی است که حرکت در آن اتفاق می‌افتد تا تکوین اصطلاحاتی چون زمان ظاهری و زمان ویژه[1] در نظریه نسبیت. در این بخش ابتدا به بررسی مفهوم

۱. زمان ویژه زمانی است که ناظر ساکن نسبت به جسم برای حرکت جسم اندازه گیری می‌کند.

تقارن معکوس زمانی (زمان متقارن) در فیزیک پرداخته و سپس مروری خواهیم داشت بر مفاهیم متعدد و لوازم مفهوم زمان در فیزیک.

۲. مفهوم تقارن معکوس زمانی

درباره تقارن معکوس زمانی مطرح می‌شود که تحت تبدیل $t \to -t$ باید معادلات هموردا باشند یا به عبارت دیگر شکل کلی معادلات تغییر نکند. می‌توان بیان کرد که اگر $x(t)$ جوابی برای معادله زیر باشد:

$$m\ddot{x} = -\nabla V(x)$$

در آن صورت $x(-t)$ نیز یک جواب برای این معادله با همان نیرویی است که از $V(x)$ به دست می‌آید. باید توجه داشت که در معادله بالا نیروی اتلافی نداریم. در چنین شرایطی از تقارن معکوس زمانی (یا زمان متقارن) صحبت می‌کنیم[۱].

فیزیک‌دانان این مطلب را به دو صورت زیر تصویر می‌کنند.

۱) انتظار داریم اگر مبدأ و مقصد حرکت با هم جابجا شوند، باز هم مسیر حرکت همان باشد و همچنین چنین تغییری ممکن باشد. باید توجه داشت آنچه در برگشت‌پذیری مطرح است این است که همان قدر که رفتن از «الف» به «ب» و تغییر در این جهت احتمال وقوع دارد، حرکت در جهت معکوس یعنی از «ب» به «الف» نیز ممکن‌الوقوع باشد. به عبارت ساده، اگر از حرکت جسم فیلم بگیریم و بعد فیلم را از اول به آخر نمایش دهیم، اینکه فیلم را معکوس کرده‌ایم برای مخاطبان قابل تشخیص نباشد.

نکته اول که باید به آن توجه داشت این مطلب است که این امر در نزد فیزیک‌دانان مسلم انگاشته می‌شود که موقع حرکت اجسام در عالم خارج، به واسطه اصطکاک مقداری انرژی جنبشی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود و بحث تقارن زمان اغلب با فرض نبودن اصطکاک و چیزهایی از این قبیل مطرح می‌شود (ساکورایی، ۱۳۹۰، ص۳۲۸).

نکته دوم که اشاره بدان می‌تواند در ارائه تصویری بهتر از موضوع مهم باشد، این مطلب است که جسم در فیزیک تعریفی بسیار نزدیک یا منطبق بر تعریف دکارتی دارد. دکارت معتقد است ما ذرات صلبی داریم که ویژگی اصلی آنها جرم داشتن است و خداوند عالم، این ذرات را به حرکت درآورده است و تنها اتفاقی که می‌تواند برای آن بیفتد جابجایی این ذرات یا برخورد آنها با هم است که سبب می‌شود یکی مقداری از حرکت خود را به دیگری بدهد (برجیان، رضیه، حاجی ابراهیم،

۱. ویگنر در مقاله‌ای که سال ۱۹۳۲ نوشت و در آن مبحث برگشت زمان را فرمول‌بندی کرد از تقارن زمان با اصطلاح برگشت حرکت یاد کرد.

رضا،۱۴۰۲، ص۲۱۱). بنابراین هرگاه از حرکت اشیاء در فیزیک صحبت می‌شود تنها جرم و سرعت آن و تغییرات این دو برای فیزیک‌دان اهمیت دارد و هر دو جسمی که در این دو ویژگی یکسان باشند از نظر فیزیک‌دان یک جسم محسوب می‌شوند. بنابراین در فیزیک اگر جسمی مانند موبایل را مثلا ۱۰ سانتی‌متر به جلو حرکت دهیم سپس همان موبایل را ۱۰ سانتی‌متر به عقب ببریم (در مدت زمان مشابه) با توجه به اینکه ویژگی‌های موبایل (جرم و سرعت) در هر دو حرکت یکسان است، یک فیزیک‌دان این دو حرکت را معکوس زمانی یکدیگر در نظر می‌گیرد و می‌تواند عنوان کند که معادلات حرکت توصیف‌کننده این حرکت‌ها نسبت به زمان متقارن هستند.

نکته دیگر این است که ما هرگاه در فیزیک از حرکت اجسام و به تبع آن از سرعت به عنوان کمیّت قابل اندازه‌گیری از حرکت اجسام صحبت می‌کنیم از دو مفهوم سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای استفاده می‌کنیم. سرعت متوسط به سادگی با فرمول $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ بیان می‌شود که هم Δx و هم Δt قابل اندازه‌گیری هستند؛ برخلاف سرعت لحظه‌ای که آن را به صورت $\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$ تعریف می‌کنیم؛ به عبارت دیگر سرعت لحظه‌ای را نه در یک بازه زمانی که در یک آن (یک لحظه) که طرف زمان است، تعریف می‌کنیم.

بدیهی است در یک آن، جسم در یک نقطه از مکان حضور دارد و حرکتی اتفاق نمی‌افتد تا سرعتی بدان نسبت داده شود. البته استفاده از حد و مشتق در نوشتن معادلات و همچنین در محاسبات فیزیکی کمک شایانی به ما می‌کند؛ منتها به این قیمت که در فیزیک نیوتنی ما جهت بردار سرعت را باید دستی بعداً وارد کنیم و از دل معادلات، جهت حرکت به دست نمی‌آید.

به عبارت دیگر ما جهتی را که به طور ذاتی در معادله $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ جود دارد که ناشی از مبدأ و مقصد با فاصله مکانی مشخص است و با تغییر مبدأ و مقصد (برعکس شدن آن مثلاً) تغییر می‌کند را به سرعت لحظه‌ای نیز نسبت می‌دهیم. این مطلب در معادلات دیگر در فیزیک که تغییرات یک کمیت را نسبت به زمان توصیف می‌کند نیز صادق است.

۲) انتظار داریم زمان مرجّحی از گذشته به آینده وجود نداشته باشد و نتوان در یک بازه زمانی حال و گذشته و آینده را به نحو قطعی مشخص کرد.

این گزاره متأثر از تعریف نیوتونی از زمان است. نیوتون زمان را ظرف حرکت می‌داند، نه عرَض جسم متحرک و همچنین پیش‌فرضی موردنیاز برای مرتبط بودن دو تصویر ضروری (شماره ۱ و۲) که فیزیک‌دانان از تعریف تقارن معکوس زمانی ارائه می‌دهند.

در فلسفه اسلامی زمان عرَض حرکت است و خود امری قائم به ذات نیست. همچنین این امر بدیهی است که ما در عالم همیشه رو به جلو در حرکتیم و هیچگاه به گذشته برنمی‌گردیم. از این رو

تصویر دومی که ارائه می‌شود اشکالاتی دارد. البته ممکن است گمان شود که این تصویر همان دهر در فلسفه اسلامی است ولی باید به تفاوت‌های آن دقت داشت که بحث دهر مقاله جداگانه‌ای می‌طلبد.

البته با توجه به اینکه معادلات فیزیک جواب‌های صحیح بسیاری به ما می‌دهند، انتظار داریم نسبتی با واقعیت برقرار کنند، نه اینکه بالکل ناظر به مفهومی اشتباه باشند.

در جواب این اشکال باید عنوان کنیم در واقع نه تنها آنچه در عالم خارج (عالم مادی بیرون از ذهن) می‌گذرد حقیقت و تحقق دارد که ما حقایق عینی ذهنی هم داریم.

در واقع ذهن این توانایی را دارد که کل حرکت را یک‌جا تصور کند و متناسب با آن معادلات فیزیکی را بنویسد که در این تصور، دیگر ما گذشته و آینده و حال را به طور مجزا و قابل تمایز نداریم و جهت زمان جهتی است که از حرکت شیء انتزاع می‌شود و می‌توانیم در ذهن برگشت‌پذیری را در تمامی حرکات داشته باشیم؛ گرچه در یک نگاه کلی و دقیق، زمان در فرآیندهای برگشت‌پذیر جدای از آنکه در هر دو جهت ممکن‌الوقوع است، یک حرکت رو به جلو دارد (در ادامه به صورت کامل و دقیق مطرح خواهد شد).

۳. ویژگی‌های مفهوم زمان از منظر فیزیک

چون در علم فیزیک محاسبات نقش اساسی و پررنگی دارد، به تفاوت ویژگی‌های مفهوم این زمان‌های متعدد توجهی نشده است. در کل می‌توان دو گروه از ویژگی‌ها را برای واژه زمان برشمرد.

ویژگی‌های معرف پیکان زمان در فیزیک که عبارتند از: وجود حافظه و انتظارات نسبت به آینده؛ وجود حال، یعنی وجود یک لحظه ترجیحی از زمان، در حال حاضر؛ جهت‌گیری، یعنی امکان تمایز گذشته از جهت آینده. این سه ویژگی حرکت‌ها را رو به جلو به تصویر می‌کشند.

در مقابل، ویژگی‌های دیگری داریم که بیانگر خواصی هستند که در ریاضیات نظریات فیزیکی وارد می‌شوند و عبارتند از:

۱) منحصر به فرد بودن: ویژگی‌ای که در نسبیت خاص و عام گم می‌شود، جایی که معنی ندارد یک متغیر زمان ترجیحی منحصر به فرد را شناسایی کنید.

۲) خاصیت خارجی بودن: یعنی استقلال مفهوم زمان از دینامیک خاص نظریه.

۳) جهانی بودن فضایی: امکان تعریف منحصر به فرد متغیر زمانی یکسان در همه نقاط فضایی.

۴) جهانی بودن زمانی.

۵) متریت: امکان گفتن اینکه دو بازه زمانی مساوی هستند.

۶) یک بعدی بودن؛ یعنی امکان چیدمان لحظه‌های زمانی در منیفلد[1] یک‌بعدی.

۱. خمینه یا منیفلد (انگلیسی: Manifold)؛ فضای توپولوژی است که در هر نقطه به صورت موضعی شبیه فضای اقلیدسی است.

البته نظریات مختلف فیزیکی هرکدام برخی از این ویژگی‌ها را نادیده می‌گیرند (C. Rovelli, 1995, p.82-93).

این ویژگی‌ها برخلاف سه ویژگی قسمت اول، زمانی متقارن را تصویر می‌کنند. باید توجه داشت که تمام معانی و ویژگی‌های بالا در همه نظریات فیزیکی وجود ندارند.

مثلاً در نسبیت، با مفهوم انقباض زمان[1] مواجه می‌شویم و با اهمیت یافتن اندازه‌گیری در این نظریه، مفهوم زمان ویژه را شاهدیم تا سنجش دو زمان نسبت به یکدیگر؛ یعنی ویژگی «متریت» را امکان‌پذیر کند. اینکه مشاهدات روزمره ما میان گذشته و آینده فرق می‌نهند؛ اما معادلات فیزیک مستقل از این تفاوت هستند و جهت مرجّحی برای زمان در این معادلات معین نمی‌شود، نشانگر یک عدم تطابق ظاهری میان نظریه و مشاهده است که مطلوب نیست. مثلاً احتمال شکستن ظرف وجود دارد اما احتمال اینکه قطعات شکسته ظرف به هم بچسبند و تبدیل به یک ظرف سالم بشوند صفر است؛ درحالی که معادلات مکانیک هر دو پدیده را به طور یکسان محتمل می‌داند. این تفاوت را با استفاده از قیدی که در قانون دوم ترمودنامیک وجود دارد بیان می‌کنند. این قانون بیان می‌کند که هرچه در زمان رو به جلو می‌رویم با «افزایش آنتروپی» مواجه خواهیم شد. به این قانون گاه به عنوان یک چالش و گاه به عنوان کمکی برای حل چالش پیکان زمان نگاه می‌شود.

با توجه بدان که تعریف زمان و مکان در فیزیک صورت نمی‌گیرد بلکه به عنوان اصل موضوع در نظر گرفته می‌شود و در فیزیک تنها نتیجه این پیش‌فرض‌ها در پدیده‌های قابل مشاهده بررسی می‌گردد، بحث‌های فلسفه فیزیکی برای مفاهیم بنیادی استفاده‌شده در نظریات فیزیکی اهمیت روزافزون می‌یابند[2].

۴. تعریف زمان در فلسفه اسلامی

یکی از مباحثی که در هر لحظه زندگی انسان با آن درگیر است، زمان می‌باشد. در فیزیک تلاش می‌کنیم تا برای سرعت یا حرکت اجسام، زمانی را در نظر بگیریم. از این رو فلسفه اسلامی در مورد آن بحث می‌کند و به تعریف و تدقیق آن می‌پردازد.

پیش از تعریف زمان باید یادآور شد که در فلسفه مراتب و سطوح مختلفی در مورد زمان مطرح می‌شود مانند عالم مجرد مقداری و عالم دهر که مراتبی مافوق زمان هستند. این دو عالم از جهاتی با زمان در ارتباط هستند ولی متفاوت با زمان و ویژگی‌های آن هستند. گرچه عالم مجرد مقداری

---

۲ . ناظر در حال حرکت نسبت به جسم، زمان حرکت جسم را کوتاه‌تر اندازه گیری می کند.

2. Space, Time and Fundamental Interactions 2019 no. 4 pp. 66-124, The Field-Theoretic Approach in General Relativity and Other Metric Theories. A Review, A. N. Petrov, J. Brian Pitts.

سطح بالاتری از زمان را مطرح می‌کند که می‌تواند در فیزیک کاربرد داشته باشد که باید در مقاله جداگانه‌ای بررسی شود؛ اما بحث پیکان زمان با مطالبی که در زیر تبیین می‌شود نیز به خوبی قابل حل است.

در فلسفه از جهات مختلف درباره زمان سخن می‌گویند. از جهتی در بحث کمّ ماهیت «لنفسه» آن تعریف می‌شود (طباطبایی، ۱۴۲۲ق، ص۱۴۰). در بحث «متی» از هیئت و نسبت اشیاء به زمان سخن می‌گوییم (طباطبایی، ۱۴۲۲ق، ص۱۷۱-۱۷۰) و در بحث حرکت زمان به عنوان شمارشگر حرکت محسوب می‌شود (طباطبایی، ۱۴۲۲ق، ص۲۶۸). به همین جهت برخی ویژگی‌های حرکت به زمان نیز سرایت می‌کند.

تعریف زمان را «کمّ متصل غیر قار» تعریف می‌کنند. زمان غیر از عدد و غیر مکان است، به نحوی که قبلیت و بعدیت ذاتی در آن وجود دارد؛ یعنی اجزائی می‌توان برای آن در نظر گرفت که ذاتاً یکی قبل از جزء دیگری است و جزء دوم ذاتاً بعد از جزء اول قرار می‌گیرد (ابن‌سینا، ۱۳۷۹، ص۲۳۱). البته باید توجه داشت که اتصال و پیوستگی بین آنها وجود دارد. فلاسفه متقدم زمان را مقدار حرکت مستدیر فلک می‌دانند. حرکت مستدیر هیچ‌گاه منقطع نخواهد شد. از این رو، اجزاء زمان پی‌درپی موجود می‌شوند. حرکت فلک از آن جهت که قابلیت تقدم و تأخر دارد، زمان مقدار آن خواهد شد (ابن‌سینا، ۱۹۵۳م، ص۴۲). حرکت افلاک دوری و نامتناهی است. پس زمان آن نیز نامتناهی است و می‌شود آن را به عنوان ملاک برای وقایع دنیا قرار داد. هر جسم متحرکی بر اساس مقدار حرکت خود زمان شخصی و خاص دارد، ولی با این زمان نمی‌توان حرکت اجسام را مقایسه و بررسی کرد. به همین جهت حرکت جسم را مطابق زمان حرکت فلک و حرکات گردش زمین قرار می‌دهند (طباطبایی، ۱۴۲۲ق، ص۲۶۹).

باید توجه داشت زمان نیوتونی ظرف حرکت است و نه عرَض حرکت؛ پس برخی از ویژگی‌های این زمان عام را دارد و برخی را نه!

آخرین بحثی که در مورد زمان مطرح می‌شود اتصال آن است. زمان کمّ متصل است به این معنا که جزء قبل با جزء بعد در ارتباط است. ویژگی مهم زمان این است که اجزاء زمان در خارج موجود بالفعل نمی‌شود (ابن‌سینا، ۱۴۰۵ق، ص۱۶۸). اگر «آن» که کوچک‌ترین جزء زمان است موجود شود یعنی جزء قبلی به نحوی باشد که جزء بعدی آن موجود نشود، زمان قطع شده است و در آن لحظه زمان وجود ندارد. زمان اتصال وهمی شیء متحرک در خارج است (ابن‌سینا، ۱۴۰۵ق، ص۱۶۶). شیء در خارج هر لحظه در قسمتی از حرکت است و ذهن این حرکت لحظه به لحظه را به صورت متصل در نظر می‌گیرد و آن را زمان می‌نامد. باید توجه داشت که در خارج طرفی از زمان موجود بالفعل خارجی نیست (طباطبایی، ۱۴۲۲ق، ص۲۷۰) و این ذهن است که در بعضی موارد ابتدا و

انتهای منقطع برای حرکت لحاظ می‌کند که مدت نامیده می‌شود، در حالی که زمان حرکت به پایان رسیده است.

با توجه به مطالب فوق و تعریف دقیق فلسفی زمان می‌توان دریافت که ویژگی‌های زمان در فیزیک تا چه میزان دقیق و قابل اعتناست. به عنوان مثال باید کار ذهن را در ترسیم گذشته و آینده از زمان جدا کرد. زمان را یک امری دانست که اجزاء آن تقدم و تأخر ذاتی دارد، به همین جهت رو به آینده است و گذشته قابل برگشت نیست.

۵. عارض بودن زمان

یکی از بحث‌هایی که در مورد زمان مطرح می‌شود از جهت مقدار و شمارشگر حرکت بودن است. رابطه زمان و حرکت عارض و معروض است (ابن‌سینا، ۱۴۰۵ق، ص۱۷۰).

در فلسفه عرَض، وجود «فی‌نفسه لغیره» دارد. منظور از فی‌نفسه بودن آن است که یک معنا و ماهیت خاص و مستقل دارد و می‌توان آن را تعریف کرد. معنای لغیره بودن نیز این است که ماهیتی است که حالت صفت بودن برای جسم را دارد و در ضمن چیز دیگری مانند جسم موجود می‌شود. (طباطبایی، ۱۴۲۲ق، ص۴۰) بر این اساس زمان با اینکه ماهیت مخصوص به خود دارد ولی وابسته به حرکت نیز هست و به خاطر آن ویژگی‌هایی را دارد.

در منطق نیز عرض را تقسیم می‌کنند. عرض‌ها یا لازم هستند یا مفارق. عرضی که از موضوع جدا شود مفارق است و عرضی که نه در خارج و نه در ذهن از معروض جدا نشود، لازم است. خواجه نصیر عرض لازم را به لازم ماهیت و لازم وجود خارجی تقسیم می‌کند. (طوسی، ۱۳۷۶، ص۲۳) لازم ماهیت به عرضی گفته می‌شود که همیشه همراه معروض هست. معروض اگر در خارج موجود شود یا در ذهن تصور شود، عرض لازم همراه آن خواهد بود، مانند زوج بودن برای عدد دو. عدد دو در هر موطنی که باشد چه خارج و چه ذهن زوج است؛ در صورتی که لازم وجود خارجی فقط در خارج موجود می‌شود، مانند حرارت آتش که فقط برای آتش خارجی است و اگر در ذهن آتشی تصور کنیم ذهن ما را نمی‌سوزاند. زمان، لازم ماهیت است به این معنا که حرکت چه در ذهن و چه در خارج موجود شود زمان همراه آن است. اگر حرکت در خارج دیده شود همراه زمان است و اگر در ذهن نیز حرکتی را در نظر بگیریم، زمان خواهد داشت.

باید دقت کرد معروض زمان در کدام جایگاه است؛ خارج یا ذهن. اگر حرکت در خارج بود به خاطر وجود شرایط دیگر و عوارض خارجی ویژگی‌هایی دارد که معروض ذهنی، آن عوارض خارجی را ندارد. مثلا اگر حرکتی در خارج اتفاق افتد مسیر حرکت رو به جلو و آینده است، لحظات حرکت قابل جمع شدن با یکدیگر نیستند، اصطکاک خاصی ایجاد می‌شود و ممکن است عوامل

محیطی غیر قابل پیش‌بینی مزاحم حرکت شود؛ در صورتی که اگر در ذهن حرکتی را تصور کنیم (معروض ذهنی باشد) این موارد را نخواهد داشت. انسان در ذهن خود می‌تواند ابتدا و انتهای حرکت را تصور کند، یا جهت حرکت توپ را تغییر دهد یا به نحو دیگری حرکت را در نظر بگیرد. با توجه به این مثال، ضروری است که ابتدا جایگاه معروض (حرکت) را تشخیص دهیم و متناسب آن جایگاه ویژگی‌های زمان را بررسی کنیم.

پس از بیان ویژگی‌های زمان در فلسفه باید به این نظریه که ذهن گاهی حرکتی را تصور می‌کند و این تصور منشأ محاسبات می‌شود، بیشتر پرداخت تا بتوان هم جایگاه فلسفی آن را مشخص کرد و هم نشان داد که کارکرد آن در تبیین تقارن زمانی چگونه خواهد بود.

۶. جایگاه معادلات فیزیکی از دیدگاه فلسفه

فیزیک‌دانان فقط برای موجودات در خارج قانون نمی‌نویسند؛ بلکه قوانین آنها عام است و توقع دارند در موارد دیگری غیر از آنچه آزمایش کرده‌اند نتیجه مشابه بگیرند. آنها قوانین کلی بیان می‌کنند تا در موارد مختلف نتیجه مشابه به دست آورند.

در فلسفه اسلامی اقسام قضایا و ملاک صدق آنها بررسی می‌شود. قضایا یا ذهنیه‌اند یا خارجیه یا حقیقیه. از آنجا که اغلب قضایای علوم و معادلات فیزیک از نوع قضایای حقیقیه هستند (مطهری، ۱۳۸۴، ج۹، ص۵۹۴) به تفصیل به آن می‌پردازیم.

هنگامی که حکم قضیه برای طبیعت شیء بیان شود، قضیه حقیقیه است؛ یعنی حکم برای یک مورد خاص مطرح نمی‌شود و آن قضیه برای مصادیق گذشته، حال و آینده صادق است. در واقع علاوه بر مصادیق محقق و خارجی، مصادیق مفروض را نیز شامل می‌شود. به عنوان مثال، وقتی بیان می‌شود که آهنربا آهن را جذب می‌کند، یعنی هر آهنربایی در زمان گذشته، حال و آینده آهن را جذب می‌کند و اگر در همان لحظه آهنی ایجاد شود؛ آهن‌ربا آن آهن جدید را نیز جذب می‌کند (مطهری، ۱۳۸۴، ج ۹، ص۵۹۵).

البته باید مصادیق مقدر باید امکان وقوعی داشته باشند. امکان وقوعی یعنی از فرض وقوع و تحقق خارجی شیء، محالی لازم نیاید. مثلاً اگر فرض شود که یک ظرف از ابتدا در کارخانه تولید شود محال نیست؛ اما اگر فرض کنیم که ظرفی که شکسته است دوباره به حالت اول بازگردد محال است زیرا ایجاد دوباره آن به خاطر شرایط خارجی ممتنع است (طباطبایی، ۱۴۲۳ق، ص۶۳). نکته دیگر اینکه در بحث بازگشت‌پذیری حرکت در فیزیک، ملاک امکان وقوعی است.

با تبیین بیشتر این قضایا بهتر می‌توان به ماهیت گزاره‌های فیزیک و کارکرد آنها در زندگی پی برد. بحث تقارن نیز از این قاعده مستثنی نیست. به همین جهت ویژگی‌ها قضایای حقیقیه بیان می‌گردد تا بتوان بحث تقارن معکوس زمانی در فیزیک بهتر تبیین کرد.

۷. ویژگی‌های قضیه حقیقیه

قضایای حقیقیه برخلاف قضایای خارجیه فقط مخصوص افراد و مصادیق خارجی نیستند. آنها از جهتی با قضایای ذهنیه متفاوت هستند و از جهتی با قضایای خارجیه. همه این تفاوت‌ها در این مقاله کاربرد ندارد. در اینجا به ویژگی‌های خاص قضایای حقیقیه می‌پردازیم که در این مقاله کارگشاست.

الف: از آنجا که حکم برای طبیعیت موضوع بیان می‌شود مانند لازم موضوع است و از طبیعت موضوع جدا نمی‌شود (مطهری، ۱۳۸۴، ج۹، ص۶۰۲). در قضایای حقیقیه که معادلات فیزیک نیز از آن نوع است، محمول هیچ‌گاه از موضوع جدا نمی‌شود؛ یعنی هرگاه موضوع موجود شود یا فرض شود، محمول نیز همراه اوست (طوسی، ۱۳۷۶، ص۲۳).

ب: مصادیق قضایای حقیقیه فقط افراد خارجی موضوع نیستند؛ بلکه افراد مفروض را نیز شامل می‌شود؛ به این معنا که اگر ذهن، فردی از آن را تصور کند، این حکم برای آن فرد نیز صادق است ولو اینکه هنوز در خارج موجود نباشد (مطهری، ۱۳۸۴، ج ۹، ص۵۸۵ و ۵۹۵). البته باید توجه داشت که هر فرضی مورد نظر نیست. شهید مطهری تصورات ذهنی را دو بخش می‌داند. آن بخش از تصورات که جایگاه واقعی دارند و می‌توان برای آن نفس‌الامر در نظر گرفت، افراد مقدر قضایای حقیقیه هستند (مطهری، ۱۳۸۴، ج ۹، ص۶۲۴).

به همین جهت حکم در قضایای حقیقیه مصادیق بیشتری دارد و دایره شمول آن از قضایای خارجیه بیشتر است (مطهری، ۱۳۸۴، ج ۹، ص۵۸۵). موضوع قضایای خارجیه حتماً باید در خارج موجود شده باشند؛ هرچند شرط نیست که در کدام زمان. همین مقدار که موضوع در یکی از زمان‌های گذشته و حال موجود شود حکم محمول برای آن صادق خواهد بود؛ در صورتی که موضوع قضایای حقیقیه علاوه بر مصادیق خارجی و محقق، مصادیق مقدرالوجود را که در خارج موجود نشده‌اند، شامل می‌شود.

ج: قضایای حقیقیه با وجود اینکه شامل مصادیق محقق و مقدر می‌شوند، صادق هستند. ملاک صدق آنها مطابقت با نفس‌الامر و مراتب واقع است که شهید مطهری به تفصیل آن را مطرح می‌کند و خارج از مباحث این مقاله است (مطهری، ۱۳۸۴، ص۹، ج ۶۲۵-۶۲۴).

همان گونه که بیان شد ذهن می‌تواند مصادیق مقدر صادق برای معادلات فیزیک در نظر بگیرد. یک معادله در باب حرکت می‌تواند شامل مصادیق متعددی شود که برخی از آن حرکت‌ها در جهان خارج اتفاق افتاده است و برخی در حال حرکت است و بعضی از مصادیق آن نیز در ذهن است. این مصادیق ذهنی حرکت همه ویژگی‌های حرکت مانند مبدأ، مقصد، مسافت و موضوع را دارد و اگر انسان بخواهد زمان آن را نیز بررسی می‌کند. این حرکت‌های ذهنی نیز خاصیت رو به جلو و پیکان

دارند. گاه ممکن است که این حرکت‌های مقدر با یک حرکت محقق خارجی مقایسه شود. اگر مبدأ و مقصد آن دو مخالف یکدیگر بود در فیزیک مورد بحث قرار می‌گیرد و آن را متقارن می‌نامند.

۸. خلط‌های مسئله پیکان زمان و تقارن

فیزیک‌دانان غافل از برخی تفاوت‌های ریز منطقی و فلسفی بین مسائل، مباحث و نظریات خود را مطرح می‌کنند. در مسئله تقارن نیز می‌توان به دو نکته توجه کرد که خلط و نادیده انگاشتن آن مشکلاتی را ایجاد کرده است.

خلط اول: عدم توجه به تفاوت میان دو تصویر بیان‌شده و اینکه در تصویر اول تمرکز بر فرآیندهای برگشت‌پذیر است، در حالی که در تصویر دوم تمرکز بر ظرف نامتناهی بودن زمان می‌باشد که فرضی اشتباه است.

خلط دوم: در منطق و فلسفه اسلامی قضایا تقسیماتی دارد که هرکدام احکام خاص خود را دارد. معادلات و فرمول‌های فیزیک از جمله قضایای حقیقیه هستند و مثال‌های مقدر و محقق را شامل می‌شوند. این در حالی است که برخی مثال‌هایی که در فیزیک بیان می‌شود، قضیه خارجیه است و از قوانین آن پیروی می‌کند. موضوع قضیه خارجیه باید در خارج محقق شود. به همین خاطر جهتی رو به جلو دارد و هیچ‌گاه به زمان گذشته باز نمی‌گردد و در فیزیک پیکان و جهت دارد. از جهت دیگر معادلاتی که بیان می‌شود، قضایای حقیقیه است و شامل افراد محقق و مقدر می‌شود. از این رو می‌توان حرکت‌های مختلفی را مقدر دانست که زمان آن با زمان حرکت دیگری متقارن باشد.

خلط سوم: در فلسفه اسلامی امکان، معانی مختلفی دارد که در فیزیک به آن توجهی نشده است. یکی از معانی که در اینجا کاربرد دارد امکان وقوعی است. امکان وقوعی به این معناست که از فرض وقوع و تحقق خارجی شیء، محالی لازم نیاید (طباطبایی، ۱۴۲۳ق، ص۶۳).

با توجه به این نکته فیزیک‌دانان در مواردی که امکان وقوعی حرکت دوم در خارج وجود ندارد، عدم تقارن را می‌یابند. در مثالی که یک ظرف می‌شکند، پیکان زمان (عدم تقارن زمانی) داریم؛ زیرا در خارج هیچ‌گاه ظرف شکسته به ظرف سالم تبدیل نمی‌شود و حرکت دومی نمی‌تواند داشته باشد.

تفاوت نگاه فیزیک و فلسفه به جسم و حرکت و زمان باعث شده در مسائل و نظریات فیزیکی این سه مطلب خلط شده باشد. به همین جهت در نظریات خود با مشکل مواجه می‌شوند. با توجه به این نکات و تبیین درست، مسئله پیکان زمان و تقارن در فیزیک باید به شیوه صحیح تبیین شود.

۹. بررسی اهمّ مصادیق پیکان زمان در فیزیک

با توجه به آنچه گفته شد در این بخش تقسیمی متفاوت از کاربرد واژه «زمان» در فیزیک ارائه می‌دهیم و از اصطلاح زمان مقدر و زمان خارجی برای تبیین و حل مسئله استفاده می‌کنیم.

در برخی از موارد مانند واپاشی مزون با یک پدیده مواجه هستیم، درباره قانون دوم ترمودینامیک نیز با یک قانون پدیدارشناسانه مواجه هستیم؛ برخلاف اغلب معادلات فیزیکی که در آنها از زمان به عنوان یک مفهوم کلی استفاده می‌شود. در چنین مواردی معادلات نسبت به زمان متقارن هستند و ما تقارن بازگشت زمانی داریم.

در فیزیک، ما از دو منظر به معادلات اصلی این علم می‌رسیم: یک رویکرد، رویکرد نظری است که به نحوی ریشه در اصول فلسفی پذیرفته‌شده دارد (برجیان، رضیه، حاجی ابراهیم، رضا، ۱۴۰۲، ص۲۱۷-۱۹۷).

رویکرد دیگر پدیدارشناسانه است که در آن سعی می‌شود معادلات از دل مشاهدات روزمره استخراج گردد. گرچه اغلب و نه همیشه این رویکرد نیز با نوعی ایده‌آل سازی همراه می‌گردد.

باید توجه داشت گرچه هامیلتونی حرکت‌های کلاسیکی نسبت به بازگشت زمان ناورداست؛ اما این هامیلتونی‌ها اغلب با حذف اصطکاک نوشته می‌شوند و اگر اصطکاک را اضافه کنیم این ناوردایی از بین می‌رود. این اتفاق در ترمودینامیک نیز می‌افتد؛ یعنی بخشی از فیزیک که نسبت به مکانیک بیشتر ریشه در تجربه و آزمایش داشت و برگرفته از پدیده‌های خارجی بود.

این مطلب را هنگامی که با بردار پوئینتینگ[1] نیز روبرو هستیم، مشاهده می‌کنیم. برخلاف امواج الکترومغناطیسی و معادله این امواج که اموری ذهنی‌اند، بردار پوئینتینگ یک کمیت مشاهده‌پذیر است و البته پیکان زمان را نیز در خود دارد.

با توجه به آنچه تاکنون گفته شد، ما زمان در فیزیک را زیر دو عنوان کلی زمان خارجی و زمان مقدّر تقسیم می‌کنیم و در ادامه سعی می‌کنیم تا مصادیق مختلفی را که برای پیکان زمان در فیزیک مشهور است بررسی و تبیین کنیم.

۱۰. پیکان زمان ترمودینامیکی و آنتروپی

اولین‌بار اصطلاح «پیکان زمان» را ادینگتون برای فرآیندهای ترمودینامیکی به کاربرد. بعدها این اصطلاح برای موارد دیگر نیز استفاده شد و پنروز پیکان‌های مختلف زمانی مشاهده‌شده در فیزیک را به هفت دسته کلی تقسیم کرد (see: Penrose, 1979, p. 586_588) که پیکان زمان ترمودینامیکی یکی از آنهاست.

قانون دوم ترمودینامیک این پیکان زمان را نشان می‌دهد. بنابر این قانون، آنتروپی همیشه افزایش

۱. بردار پوئینتینگ، نامِ برداری در فیزیک است. اندازه این بردار، چگالیِ انرژیِ الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که از واحدِ سطح در واحدِ زمان عبور می‌کند و واحدِ آن وات بر مترِ مربع (W/m2) است.

می‌یابد تا به حداکثر ممکن خود برسد؛ اما فرآیند عکس هیچ‌گاه مشاهده نمی‌شود. به عبارت دیگر هر حالت ماکروسکوپی از بی‌نهایت حالت میکروسکوپی تشکیل شده است. هر حالت میکروسکوپی به یک اندازه محتمل است که هر حالت به اندازه دیگری احتمال وقوع دارد؛ بنابراین انتقال معکوس بین حالت‌های ماکروسکوپی هرگز مشاهده نمی‌شود. این تفسیر آماری از آنتروپی را بولتزمن در سال ۱۸۷۷ ارائه داد. (Chaverondier, 2023)

یک نظریه این است که پیکان زمانی که در زندگی روزمره تجربه می‌کنیم، در ترمودینامیک و افزایش آنتروپی نهفته است. (see: Penrose, 1979, p. 586-588)

$$dS / dt \geq °,$$

فیزیک‌دانان زیادی معتقدند که علت اصلی پیکان زمان ترمودینامیکی کمبود دسترسی ناظران به اطلاعات است؛ چرا که تکامل سیستم‌های ایزوله یکپارچه است و در نتیجه باید اطلاعات حفظ شود.

به هرحال مستقل از این که علت افزایش همیشگی آنتروپی با افزایش زمان چه باشد یا اینکه این پدیده خود علت چه پدیده‌ای باشد، می‌توان دید که آنتروپی و قانون دوم ترمودینامیک به توصیف زمان خارجی منجر می‌شود و زمان ظاهرشده در قانون دوم ترمودینامیک زمان خارجی است.

با توجه به مباحث فلسفی، افزایش آنتروپی در عالم خارج است و مطابق قواعد حرکت خارجی قرار می‌گیرد، از این رو زمان رو به جلو است و برگشت در آن نداریم. در حقیقت پیکان زمان به خاطر حرکت خارجی ایجاد می‌شود.

۱۱. پیکان زمان کیهان‌شناسی

جهان از یک تکینگی فضا-زمان آغاز می‌شود که آن را مبدأ زمان (زمان صفر) در نظر می‌گیرند. زمانی که با ایجاد جهان آغاز می‌گردد. به عبارت دیگر، زمان با خلقت جهان ایجاد می‌شود و قبل از آن زمانی وجود ندارد (see:Penrose, 1979, p. 596-608). این زمان وابسته به ماده و حرکت آن است و با وجود آن به وجود می‌آید. از این زمان با تعبیر زمان خارجی یاد کرده‌ایم. در هر زمان کوچک مثبت پیکان زمان به گونه‌ای تعریف می‌شود که جهت آن از تکینگی در زمان صفر به زمان حال (مرز آینده فضا-زمان در حال تحول) باشد. البته باید توجه داشت که معادلات انیشتین که این جهان در حال انبساط را توصیف می‌کنند متقارن زمانی هستند؛ اما جهان واقعی شروعی داشته که در آن نقطه تقارن زمانی شکسته شده است (Penrose, 1979, p. 596-608) و مطابق حرکت خارجی، زمان رو به آینده است و تقارن نداریم. البته معادلات انیشتین بر حرکاتی که در ذهن تصور می‌کنیم استوار است و به همین جهت امکان تقارن در آن وجود دارد.

در واقع در این‌گونه معادلات، علاوه بر حرکت شیء در عالم خارج یک حرکت دیگری مقدر است. ذهن انسان حرکت دومی تصور می‌کند که مبدأ و مقصد آن مخالف حرکت خارجی است و شیء مسافت را در همان زمان طی می‌کند. در این صورت با اندازه‌گیری این دو حرکت و تساوی آنها تقارن خواهیم داشت. وجود تقارن مبتنی بر دو حرکت در خارج نیست؛ بلکه یکی از آن حرکت‌ها مقدر ذهنی است.

۱۲. پیکان زمان تابشی و بردار پوئینتینگ

امواج الکترومغناطیسی همیشه از یک نقطه واگرا می‌شوند و فرایند عکس (متمرکز شدن امواج در یک نقطه) اتفاق نمی‌افتد؛ در حالی که معادلات الکترومغناطیسی جواب‌های تقدیمی مانند همگرا شدن امواج در یک نقطه را مانند جواب‌های تأخیری (واگرا شدن از یک نقطه) مجاز می‌شمارد (see: Penrose, 1979, p. 589-593). البته تلاش‌های مختلفی صورت گرفته است تا نشان دهد مسئله پیکان زمان تابشی یعنی تسلط کامل تابش الکترومغناطیسی تأخیری در جهان بر تابش الکترومغناطیسی تقدیمی را می‌توان با پیکان زمان کیهان‌شناسی مرتبط کرد. نشان داده شده است که إعمال یک شرط مرزی در نقطه تکینگی آغاز جهان منجر به تسلط مشاهده‌شده امواج الکترومغناطیسی تأخیری است (see:Cramer, 1983. p.887-890). بردار پوئینتینگ اولین‌بار برای توصیف چگالی جریان انرژی در میدان الکترومغناطیسی و نشان دادن انرژی عبوری در واحد سطح در واحد زمان در جهت عمود بر بردار استفاده شد. یون و همکارانش اولین افرادی بودند که از این بردار پیکانی استخراج کردند که نمایانگر RTM بود و جهت انتشار امواج را نشان می‌داد (see:Liu, Bi Xie and Chen, 2017, P.505–516).

همان‌طور که گذشت، پیکان زمان تابشی نیز امری است که می‌توان با تکیه بر شرایط مرزی نیز به دست آورد و شرایط مرزی شرایط آزمایشگاهی است. بنابراین این زمان در بردار پوئینتینگ را نیز می‌توان در زمره زمان خارجی طبقه‌بندی کرد؛ برخلاف زمان در معادلات امواج الکترومغناطیسی که امری ذهنی است.

۱۳. پیکان زمان کوانتمی

فرایند اندازه‌گیری در مکانیک کوانتوم که به فروپاشی (تقلیل) تابع موج منجر می‌شود یک فرایند نامتقارن است. این پدیده را می‌توان به عنوان پیکان زمان کوانتومی در نظر گرفت. گرچه در تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی تحول سیستم کوانتومی توسط معادله شرودینگر توصیف می‌شود که متقارن است؛ اما فروپاشی تابع موج بازگشت‌ناپذیر است (see: Ellis, 2013, p. 242-247).

فروپاشی تابع موج رابطه ناگسستنی با بحث عدم قطعیت دارد. در فرآیند زیر برگشت‌ناپذیری زمان و در نتیجه پیکان زمان کوانتومی آشکار می‌شود.

$$|\psi_1\rangle = \sum_n c_n|u_n(x)\rangle \quad \longrightarrow \quad |\psi_2\rangle = c_N u_N(x)$$
$$\textit{Indeterminate} \qquad \textit{Transition} \qquad \textit{Determinate}$$

ویژه حالت ψ_2 زمانی بعد از برهم نهی رخ می‌دهد و آگاهی از حالت نهایی منجر به تغییر حالت اولیه نمی‌شود.

تقلیل تابع موج تغییری ناگهانی غیر موضعی و ناپیوسته است. تبیین سازوکار تقلیل تابع موج پس از تفوق تعبیر موسوم به «کپنهاگی» مکانیک کوانتمی در سال ۱۹۲۷ اهمیت زیادی یافت. دیدگاه‌های مختلفی سعی در تبیین این موضوع داشته‌اند. فون نویمان استدلال کرده بود که نیازی نیست دقیقاً بگوییم چگونه یا چه موقع فروپاشی رخ می‌دهد؛ اما تشخیص وینگر این بود که نیازمند این تعیین هستیم.

یک نگاه این است که دینامیک تقلیل به ما می‌گوید زمان اندازه‌گیری چه اتفاقی می‌افتد و دینامیک موجبیتی رایج هم وضعیت را در بقیه زمان‌ها توصیف می‌کند. فون نویمان و دیراک این رویکرد را در قالب دو اصل آوردند. البته برخی قائل به تقلیل توسط دستگاه هستند و برخی معتقد به تقلیل توسط ذهن. در کنار این دیدگاه‌ها برخی نیز اصلاً تقلیل تابع موج را قبول ندارند:

۱. نظریه چندجهانی اورت که هنگام اندازه‌گیری یک جهان به دو یا چند جهان شکافته می‌شود و تمام حالت‌ها روی می‌دهند؛ هرکدام در یک جهان.

۲. نظریات مبتنی بر متغیر پنهان مانند مکانیک کوانتمی بوهمی (سجادی، ۱۳۹۹، ص۱۱۰-۱۰۸).

هرکدام از این دیدگاه‌ها را که بپذیریم باز مسئله تقلیل تابع موج کوانتمی یا شکافتن جهان‌ها یا حتی ارجاع تقلیل به کم دانشی ما، این پدیده پدیده‌ای است که در عالم مادی و خارج رخ می‌دهد و زمان وابسته به این تحول نیز زمان خارجی و جهت‌دار خواهد بود.

۱۴. پیکان زمان گرانشی (سیاه‌چاله‌ها در مقابل سفیدچاله‌ها)

بر اساس تئوری نسبیت عام، فروپاشی اجرام به اندازه کافی بزرگ، به یک سیاهچاله منجر می‌شود. عکس این فرایند بر اساس معادلات نسبیت عام مجاز است که از آن به سفیدچاله‌ها تعبیر می‌شود. شواهدی بر وجود سیاهچاله‌ها وجود دارد، اما در مقابل شاهدی بر وجود سفیدچاله نداریم.

نکته مهم این است که در این مورد هم معادلات نسبیت عام متقارن زمانی هستند و دیگر اینکه انتظار داریم بنا بر این تقارن سفیدچاله‌ها را که تولیدکننده ذرات هستند، داشته باشیم؛ اما مشکل این

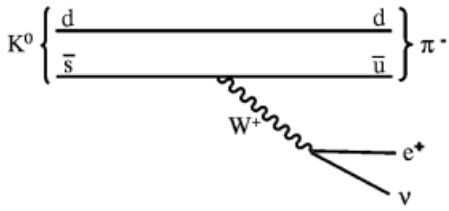
است که در سفیدچاله‌ها دیگر افزایش آنتروپی نداریم. از تقابل سیاه‌چاله‌ها و سفیدچاله‌ها به پیکان زمان گرانشی تعبیر می‌کنند (البته بحث‌ها و مکاتب بسیار مختلفی در این زمینه موجود است :see Penrose,1979, p.600- 610).

وجود تقارن زمانی در گرانشی و در عین حال نداشتن سفیدچاله در عالم خارج بر اساس مبانی فلسفی قابل تبیین است. فروپاشی اجرام به اندازه کافی بزرگ، یک حرکت در عالم خارج است و به همین جهت سیاهچاله وجود خارجی دارد و زمان آن را در عالم خارج محاسبه می‌کنیم؛ ولی عکس آن فرایند بر اساس قوانین ذهن و خلق حرکاتی مخالف جهت خارجی در ذهن هستیم. از این رو زمانی که اندازه‌گیری می‌شود زمان حرکت ذهنی است و تقارن ایجاد می‌کند؛ ولی از آنجا که حرکتی این چنین و مطابق این قوانین در عالم خارج نبود و فقط ساخته ذهن است، سفیدچاله نیز در عالم ذهن ایجاد می‌شود و ما سفیدچاله در عالم خارج نداریم.

۱۵. واپاشی مزون K°

هنگامی که کائون خنثی واپاشی می‌کند، دو یا سه پائون بوجود می‌آیند. در این واپاشی تقارن پاریته-همیوغ بار (CP) نقض می‌شود. بنا به قضیه CPT، نقض تقارن زمان نیز ظاهر می‌شود (Chaverondier,2023). به بیان دیگر واپاشی مزون کائون خنثی به گونه‌ای است که به نظر می‌رسد توسط یک قانون نامتقارن زمانی اداره می‌شود. این واپاشی تنها موردی در فیزیک ذرات است که این خاصیت را دارد. البته نقض معکوس زمان در فرایند واپاشی مزون کائون صفر خیلی کوچک است.

با بررسی فرایند $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$ و نیز عکس آن و اندازه‌گیری تعداد کائون‌های خنثی بررسی پیکان زمان امکان‌پذیر است.



شکل ۱: واپاشی نیمه لپتونی کائون خنثی

در واپاشی مزون K° باید توجه داشت که معادلات الکتروضعیف نسبت به زمان متقارن هستند (Chaverondier, 2023). بنابراین در این مورد نیز باز فرضیه پیشنهادی ما تأیید می‌شود. یعنی آن‌چه در جهان خارج مشاهده می‌کنیم پیکان زمان دارد ولی به خاطر این که برخی معادلات به صورت کلی و عام نوشته می‌شود و حرکات خارجی و حرکات ذهنی و تصوری را دربرمی‌گیرد، تقارن زمان را در معادلات داریم در صورتی که در عالم خارج این تقارن یافت نمی‌شود و حرکات پیکان زمان دارند.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که گفته شد، بحث تقارن زمان یا عدم تقارن آن (پیکان زمان) یکی از چالش‌های پیش روی فیزیک‌دانان است. این چالش محصول عدم دقت فلسفی در ارائه مفاهیم «حرکت و زمان» است. در فیزیک معادلات را به صورت عام بیان می‌کنند؛ یعنی شامل مصادیق مختلفی می‌شوند که در گذشته، حال و آینده تحقق می‌یابد، همچنین مصادیقی را که ذهن به صورت صحیح تصور کند و افراد مقدر آن می‌نامیم، شامل می‌شود. این افراد مقدر نیز مبدا، مقصد، مسافت و حرکت دارند و زمانی طی خواهد شد که از مبدأ به مقصد برسند که در این مقاله یکی را زمان خارجی و دیگری را زمان مقدر نامیده‌ایم. طبیعتاً انتظار می‌رود چون معادلات ریاضی تبیین‌گر پدیده‌های فیزیکی در ذهن و همزمان با ایده‌آل‌سازی (فرض نبود اصطکاک و دیگر مواردی که سبب محال بودن وقوعی برگشت‌پذیری حرکت می‌شوند) اتفاق می‌افتند و در وهله اول بیانگر حرکت ذهنی هستند متقارن باشند؛ همان‌طور که انتظار می‌رود گذر زمان بر پدیده‌های مادی (پیکان زمان) امری حتمی باشد. البته ما دقیقاً در فیزیک نیز شاهد این امر هستیم که این نکته درباره مصادیق اصلی مطرح برای مطالعات پیکان زمان در فیزیک در این مقاله بررسی شد.

منابع و مآخذ

۱. ابن‌سینا، حسین بن عبد الله (۱۹۵۳م) رسائل. قسطا بن لوقا و مصحح حلمی ضیاء، بی‌جا: مطعبه ابراهیم خروز.

۲. _____ (۱۴۰۵ق) شفا (الطبیعیات). مصحح ابراهیم مدکور، قم: کتابخانه عمومی حضرت آیت‌الله‌العظمی مرعشی نجفی.

۳. _____ (۱۳۷۹) نجاة. مصحح محمدتقی دانش‌پژوه. تهران: دانشگاه تهران.

۴. برجیان، رضیه، حاجی ابراهیم، رضا، تأثیر فلسفه ابن‌سینا بر مکانیک کلاسیک؛ حکمت اسلامی، (۱۰)،۲)، تابستان ۱۴۰۲، ص۱۹۷-۲۱۷.

۵. ساکورایی،جی جی(۱۳۹۰) مکانیک کوانتومی مدرن. مسعودعلیمحمدی، حمیدرضا مشفق،تهران: دانشگاه تهران.

۶. سبزواری، ملاهادی (۱۴۲۲ق) شرح منظومه. تصحیح حسن‌زاده آملی. بی‌جا: نشر ناب.

۷. سجادی، سیدهدایت، مسئله تقلیل تابع موج کوانتمی توسط ذهن آگاه در پرتو نظریه‌های ذهن-بدن، دوفصلنامه علمی (مقاله علمی ـ پژوهشی)، (۱۰)،۱). بهار و تابستان ۱۳۹۹، ۱۰۵ ـ ۱۲۵.

۸. طباطبایی، سیدمحمدحسین (۱۴۲۲ق) نهایة الحکمه. تصحیح عباس‌علی زارعی سبزواری، قم: موسسه نشر اسلامی.

۹. طوسی، محمد بن محمد (۱۳۷۶) اساس الاقتباس. تصحیح مدرس رضوی، تهران: دانشگاه تهران.

۱۰. نیوتن، اسحاق (۱۳۹۵). اصول ریاضی فلسفه طبیعی. بهنام شیخ باقری. تهران: نشرنی.

11. Albert, D. Z (2000). “Time and Chance”. (*Harvard University Press*,) p. 192.

12. Bader, A. and Parker, L., (2001). Joseph Loschmidt, physicist and chemist. *Physics Today*, 54(3), p.45-50.

13. Balian, R. (). “The macroscopic time”. Colloques de la Société Française de Physique : le Temps et sa Flèche ; Paris, France ; 1993-12-08.

14. Balian, R (1999). “Incomplete descriptions and relevant entropies”, Am. J. Phys. 67, 1078–1090.

15. Barbour, J (1994). “The Emergence of Time and Its Arrow from Timelessness”. the Physical Origins of time asymmetry. p.405-414.

16. Barbour, J., Koslowski, T. and Mercati, F.(2014). “Identification of a gravitational arrow of time”. *Physical review letters*, 113(18), p.181101.

17. Bitbol, M (1994). “PRÉLUDE À L’IRRÉVERSIBILITÉ: LA « FLECHE DU TEMPS » EST-ELLE UN FAIT DE LA NATURE? ”. Sciences et Avenir (Numéro spécial : Les énigmes du temps).

18. Boltzmann, L.(1970). Weitere studien über das wärmegleichgewicht unter gasmolekülen. Kinetische Theorie II, p.115-225.

19. Carroll, S. M. and Chen, J. (2005). "Does inflation provide natural initial conditions for the universe", General Relativity and Gravitation 37, 1671.
20. Chaverondier, B.(2023). "The arrow of time issue, an overview", Submitted to International Journal of Geometric Methods in Modern Physics, xx xx.
21. Cheng, Liu Ji. Xiao-Bi , Xie. and Bo, Chen (2017). "Reverse-time migration and amplitude correction in the angle-domain based on Poynting vector". *APPLIED GEOPHYSICS*, Vol.14, No.4, P.505–516, 13.
22. Cramer, J.G.(1983). "The arrow of electromagnetic time and the generalized absorber theory". Foundations of Physics. 13, p.887-902.
23. Deutsch, David (2013). "Constructor theory". *Synthese* 190, 18 p.4331-4359.
24. Ellis, G. F. R. (2013). "The arrow of time and the nature of spacetime". Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics, 44(3), 242-262.
25. Gell-Mann, M. (1994). "The Quark and the Jaguar". Londres. *Little Brown and Co*, p. 218-220
26. Goldstein, et al (2006) . "Canonical typicality". *Physical review letters* 96, no. 5, p. 050403.
27. Goold, John , et al (2016). "The role of quantum information in thermodynamics—a topical review". *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 49, 14:p. 143001.
28. Lebowitz, J. (1993). "BOLTZMANN'S ENTROPY AND TIME'S ARROW". *Phys. Today*. 46, 9, 32 p.32-38.
29. Marletto, Chiara, et al (2022). "Emergence of constructor-based irreversibility in quantum systems: theory and experiment". Physical Review Letters 128, no. 8:p. 080401.
30. Penrose, R1979. "Singularities and Time-Asymmetry". pp. 581-638 in General Relativity:
31. An Einstein Centenary Survey, eds S W Hawking, W Israel, Cambridge University
32. Press, Cambridge.
33. Popescu, Sandu, Anthony J. Short, and Andreas Winter (2006). "Entanglement and the foundations of statistical mechanics". *Nature Physics* 2, no. 11, p. 754-758.
34. Roduner, Emil, and Tjaart PJ Krüger (2022). "The origin of irreversibility and thermalization in thermodynamic processes". *Physics Reports* 944: p.1-43.
35. Rovelli, C. "Analysis of the Distinct Meanings of the Notion of Time-, in Different Physical Theories". *Il Nuovo Cimento B* 110,N.1, 1995,p.82-93.
36. Steckline, Vincent S (1998). "Zermelo, Boltzmann, and the recurrence paradox ". *American Journal of Physics* 51, no. 10: p.894.
37. Strasberg, P. and Winter, A. (2021). "First and Second Law of Quantum Thermodynamics: A Consistent Derivation Based on a Microscopic Definition of Entropy". *PRX Quantum* 2, 030202.
38. Vaccaro, J.A. (2011). "T violation and the unidirectionality of time". *Foundations of Physics*, 41(10). pp.1569-1596.
39. Vaccaro, J.A. (2016). "Quantum asymmetry between time and space". *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 472 (2185), p.20150670.