Philosophy of Science, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Biannual Journal, Vol. 13, No. 2, Autumn and Winter 2023-2024, 265-292
https://www.doi.org/10.30465/ps.2024.48562.1726

The Newtonian Schema vs. the Lagrangian Schema: An Evaluation of Smolin's and Wharton's Criticism of the Newtonian Schema

Mohammad Ebrahim Maqsudi*
Seyed Ali Taheri Khorram Abadi**

Abstract

Lee Smolin sees modern cosmology in crisis in explaining phenomena as the result of using a special methodology called "the Newtonian schema". According to the Newtonian schema, the world is like a computer that receives its initial conditions as inputs, and then the governing rules, in terms of differential equations with respect to time, produce its subsequent states as outputs. He considers it necessary to abandon this schema to overcome the crisis. However, he has not proposed an alternative. As far as I know, the only available alternative is provided by Ken Wharton. He considers the "Lagrangian schema" to be an appropriate alternative to the Newtonian schema. The Lagrangian schema is a holistic approach that denies the mentioned algorithmic understanding of the world. This article aims to examine Smolin's criticisms and Wharton's proposal. We will argue that although its advantages over the Newtonian schema, the Lagrangian schema cannot be favorable to Smolin.

Keywords: Newtonian Schema, Lagrangian, Cosmology, Time, Multiverse, Smolin.

* Ph.D. student of the Department of Philosophy of Science, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, moh.maghsoudi@sharif.edu
** Assistant Professor, Department of Philosophy of Science, Sharif University of Technology, Tehran, Iran (Corresponding Author), ataheri@sharif.edu

Date received: 18/04/2023, Date of acceptance: 16/07/2023

فلسفهٔ علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
دوفصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ پژوهشی)، سال ۱۳، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۲

طرح‌وارهٔ نیوتنی در برابر طرح‌وارهٔ لاگرانژی: بررسی انتقادات اسمولین و وارتون بر طرح‌وارهٔ نیوتنی

محمدابراهیم مقصودی*
سید علی طاهری خرم آبادی**

چکیده

اسمولین کیهان‌شناسی جدید را دچار بحرانی در تبیین پدیده‌ها می‌داند که معلول به‌کارگیری روش‌شناسی خاصی است که او آن را «طرح‌وارهٔ نیوتنی» می‌نامد. بر مبنای این طرح‌واره جهان همچون رایانه‌ای است که شرایط اولیه را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و قوانین حاکم بر آن وضعیت‌های بعدی را به‌عنوان خروجی تولید می‌کنند. او کنارگذاشتن این طرح‌واره را برای عبور از بحران‌های کیهان‌شناسی جدید ضروری می‌داند؛ اما در عین حال جایگزینی نیز مطرح نکرده است. تنها جایگزین موجود توسط وارتون ارائه شده است. او «طرح‌وارهٔ لاگرانژی» را جایگزین مناسبی برای طرح‌وارهٔ نیوتنی می‌داند. طرح‌وارهٔ لاگرانژی رویکردی سراسری و کل‌گرایانه است که ذیل آن برداشت الگوریتم‌گونهٔ متداول از قوانین طبیعت صحیح نیست. رایانهٔ کیهانی تصویری کارامد اما به‌لحاظ متافیزیکی نادرست از جهان است. هدف این مقاله شرح و بررسی انتقادات اسمولین و پیشنهاد وارتون است. استدلال خواهیم کرد که گرچه طرح‌وارهٔ لاگرانژی از برخی اشکالات طرح‌وارهٔ نیوتنی مبرا است، اما نمی‌تواند چندان مطلوبِ اسمولین باشد.

کلیدواژه‌ها: طرح‌وارهٔ نیوتنی، لاگرانژی، کیهان‌شناسی، زمان، چندجهانی، اسمولین، وارتون.

* دانشجوی دکتری، گروه فلسفه علم، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، moh.maghsoudi@sharif.edu
** استادیار، گروه فلسفه علم، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران (نویسنده مسئول)، ataheri@sharif.edu
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

۱. مقدمه

لی اسمولین، فیزیکدان برجسته و یکی از بنیان‌گذاران نظریهٔ گرانش کوانتومی حلقه‌ای،[۱] از منتقدین شناخته‌شدهٔ کیهان‌شناسی جدید است. او کیهان‌شناسی جدید را دچار بحرانی در تبیین پدیده‌ها و پاسخ به برخی از مهم‌ترین پرسش‌های ما می‌داند. به عقیدهٔ او این بحران معلول به‌کارگیری روش‌شناسی خاصی در فیزیک است که او آن را «طرح‌وارهٔ نیوتنی» (نک. Smolin 2009) یا «پارادایم نیوتنی» (نک. Smolin 2015 و Unger and Smolin 2015) می‌نامد. بر مبنای این طرح‌واره جهان همچون رایانه‌ای است که ورودی‌هایی را دریافت می‌کند و قوانین حاکم بر آن خروجی‌هایی را تولید می‌کنند. ورودی‌های این ماشین محاسبهٔ کیهانی وضعیت اولیه، یا به زبان آشناتر برای فیزیک‌دانان «شرایط اولیهٔ»، جهان در لحظهٔ آغاز و خروجی‌های آن وضعیت‌های بعدی جهان در زمان‌های بعدی هستند. از منظر اسمولین، همین به‌کارگیری طرح‌وارهٔ نیوتنی است که به باورهای رایج اما نادرستی همچون باور به واقعی‌نبودن زمان یا باور به وجود چندجهانی(multiverse) انجامیده است. او کنارگذاشتن این طرح‌واره را برای عبور از بحران‌های کیهان‌شناسی جدید ضروری می‌داند؛ اما در عین حال جایگزینی را نیز مطرح نکرده است. تنها جایگزین موجود توسط کِن وارتون، فیزیک‌دان برجستهٔ کوانتومی، ارائه شده است. او چیزی را که «طرح‌وارهٔ لاگرانژی» نامیده است جایگزین مناسبی برای طرح‌وارهٔ نیوتنی می‌داند، دست‌کم در توصیف جهان کوانتومی.

هدف این مقاله شرح و بررسی انتقادات اسمولین و پیشنهاد وارتون است. استدلال خواهیم کرد که: (۱) به‌کارگیری طرح‌وارهٔ لاگرانژی، برخلاف طرح‌وارهٔ نیوتنی، به معضلاتِ مغالطهٔ کیهان‌شناختی و دوراهی کیهان‌شناختی دچار نیست. (۲) تغییر نگرش از طرح‌وارهٔ نیوتنی به طرح‌وارهٔ لاگرانژی از منظر اسمولین به اندازهٔ کافی اساسی نیست زیرا به نظر می‌رسد که در طرح‌وارهٔ لاگرانژی نیز زمان می‌تواند غیرواقعی و چندجهانی واقعی دانسته شود، که از نظر اسمولین نقاط ضعف طرح‌وارهٔ نیوتنی هستند. (۳) کاملاً محتمل است که در چارچوب طرح‌وارهٔ لاگرانژی نیز همچون طرح‌وارهٔ نیوتنی پرسش‌هایی معنی‌دار باشند که پاسخ‌دادن به آن‌ها در چارچوب آن طرح‌واره امکان‌پذیر نباشد. بنابراین، طرح‌وارهٔ لاگرانژی گرچه با برخی مشکلات طرح‌وارهٔ نیوتنی روبه‌رو نیست، اما برخی از انتظارات مهم اسمولین را نیز از جایگزین مطلوب آن برآورده نمی‌کند.

سازمان‌بندی این نوشتار بدین‌ترتیب است: بخش‌های ۲ تا ۵ به بررسی انتقادات اسمولین به کیهان‌شناسی جدید و طرح‌وارهٔ نیوتنی اختصاص دارد. بخش ۶ به نقد مهم وارتون به

طرح‌وارهٔ نیوتنی می‌پردازد؛ او طرح‌وارهٔ نیوتنی را مصداق انسان‌محوری(Anthropocentrism) می‌داند. بخش ۷ به معرفی طرح‌وارهٔ لاگرانژی به‌عنوان رویکرد رقیب و جایگزین پیشنهادی طرح‌وارهٔ نیوتنی اختصاص یافته است. بخش ۸ به ارزیابی مزایای طرح‌وارهٔ لاگرانژی نسبت به طرح‌وارهٔ نیوتنی از جهت برآوردن انتظارات اسمولین می‌پردازد. نهایتاً بخش ۹ به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲ بحرانی در فیزیک و لزوم بازنگری در معنای قانون طبیعی

اسمولین به بروز بحرانی در فیزیک اشاره کرده است که ناظر به عدم موفقیت در تبیین علمی برخی موارد مدل استاندارد ذرات بنیادی و مدل استاندارد کیهان‌شناسی و نیز عدم اتحاد و یکپارچگی آن دو با یکدیگر است. او بیان می‌دارد که

> بحران به دلیل ناتوانی ما در پیش‌روی بیشتر نسبت به [مدل استاندارد ذرات بنیادی و مدل استاندارد کیهان‌شناسی] و ارائهٔ تصویری یکپارچه از فیزیک و یا تبیین عناصر این مدل‌ها است. این مدل‌ها جهانی را به تصویر می‌کشند که از جهت عقلانی یا زیبایی‌شناختی غیرطبیعی است و هرکدام مشتمل بر فهرست بلندی از پارامترهایی هستند که باید به‌طور بسیار ظریفی تنظیم‌شده باشند تا با آزمایش‌ها هم‌خوانی داشته باشند. پیشنهادهای زیادی برای توضیح مقادیر این پارامترها ارائه شده است که هیچکدام تاکنون توفیق نیافته اند (Unger and Smolin 2015, 354).

او متذکر می‌شود که

> اگر توجه خود را تنها به داده‌ها معطوف کنیم، بحرانی در کار نیست. ... به کمک نسبیت عام استاندارد و نظریهٔ میدان‌های کوانتومی می‌توانیم مشاهدات را مدل‌سازی کنیم. ... بحران زمانی خود را نشان می‌دهد که تلاش می‌کنیم فراتر از مدل‌سازی برویم و داده‌ها را تبیین کنیم. ... زمانی با بحران روبه‌رو می‌شویم که جاه‌طلبی خود را ارتقاء می‌دهیم و تلاش می‌کنیم تا از توصیف جهانی که مشاهده می‌کنیم به نظریه‌ای دربارهٔ کل جهان دست یابیم (Unger and Smolin 2015, 360. تاکیدها از ما است).

بنابراین روشن است که مقصود او از بحران، بحرانی در تبیین است. از همین روی، برای غلبه بر این بحران، او ضروری می‌بیند تا در مفاهیم «تبیین علمی» و «قانون طبیعی» بازنگری کند (نک. Smolin 2009; 2015 و Unger and Smolin 2015).[۲]

نقطهٔ شروع او این پرسش است: چگونه فهم ما از قوانین طبیعی متأثر از یافته‌های ما در آزمایشگاه بوده است؟ ما در آزمایشگاه، بنا به تعریف آن، کل جهان را مورد بررسی قرار نمی‌دهیم؛ بلکه زیرسامانه‌ای کوچک از جهان را بررسی می‌کنیم[۳] و برای آنکه «قانون طبیعی» حاکم بر آن را دریابیم، فرض می‌کنیم که می‌توان آن را بارها و بارها، در زمان‌های دیگر و در مکان‌های دیگر، بر پا کرد و آزمایش را تکرار نمود. این تکرارها گاه در حالی است که اجزای آن سامانه را ثابت ولی پیکربندی اجزاء را هر بار متفاوت قرار می‌دهیم. الگویی که در همهٔ این وضعیت‌ها برقرار بماند را «قانون طبیعی» می‌نامیم و تفاوت‌های حاصل را به تفاوت در «شرایط اولیه» نسبت می‌دهیم.

در حقیقت، این نوع از بررسی است که امکان تمایزگذاری قاطع میان دو مفهوم «قانون طبیعی» و «شرایط اولیه» را فراهم می‌آورد. این تمایز به یکی از پرکاربردترین مفاهیم فیزیکی می‌انجامد، یعنی مفهوم «فضای حالت‌ها»(State space) که فضای هندسی همهٔ حالت‌ها یا وضعیت‌های ممکن سامانه است. از این منظر قوانین حرکت تحول سامانه را از نقطه‌ای در این فضا، موسوم به شرایط اولیه، به نقاط دیگر متعین می‌کنند. اسمولین این رویکرد را «طرح‌واره نیوتنی»، «پارادایم نیوتنی» یا رویکرد نیوتنی به تبیین علمی می‌نامد. اساس این طرح‌واره مبتنی است بر

۱. مشخص‌کردن زیرسامانه‌ای از جهان و منزوی فرض کردن آن تاحدی که می‌توان از بده‌بستان آن با محیط پیرامونش صرف‌نظر کرد؛

۲. مشخص‌کردن فضای حالت‌های ممکن آن سامانه؛ و

۳. مشخص‌کردن نحوهٔ تحول سامانه در زمان.

این سه گام در کنار یکدیگر، به بیان اسمولین، «روش‌شناسی استاندارد فیزیک» (Unger and Smolin 2015, 373) را شکل می‌دهند.

گام نخست مستلزم آن است که مشاهده‌گر به همراه ساعتی که زمان را اندازه‌گیری می‌کند در بیرون از سامانه واقع شوند. این مشاهده‌گر می‌تواند به‌واسطهٔ ابزارهای اندازه‌گیری بر سامانه مورد بررسی‌اش تاثیر بگذارد؛ اما این تاثیر قابل چشم‌پوشی فرض می‌شود و یا اثر آن در معادلهٔ تحول سامانه غایب است، مانند وضعیتی که در نظریات رُمبشی درخصوص سامانه‌های کوانتومی با آن روبه‌رو هستیم. گام دوم را صورت‌بندی سینماتیک نظریه و گام سوم را صورت‌بندی دینامیک نظریه می‌نامند. ساختارهایی که برای صورت‌بندی سینماتیک و دینامیک

به‌کار گرفته می‌شوند، به ترتیب، عبارت اند از: (الف) فضای پیکربندی(Configuration space) یا فضای فاز(Phase space) در مکانیک نیوتنی و فضای هیلبرت در مکانیک کوانتومی و (ب) برگ‌بندی‌ای(foliation) از فضاهای مذکور به‌نحوی که خانواده‌ای از مسیرهایی در فضا ایجاد شوند که از هر نقطه از آن فضا تنها و تنها یک مسیر عبور کند.

همچنین، گام نخست نشانهٔ آن است که نتایج حاصل از طرح‌وارهٔ نیوتنی تقریبی هستند. این طرح‌واره برای سامانه‌های منزوی به‌کار گرفته می‌شود، اما هیچ سامانه‌ای در جهان واقعی منزوی نیست زیرا هر سامانهٔ واقعی با سایر سامانه‌ها در برهم‌کنش است. «در بدترین حالت، به‌لحاظ فیزیکی غیرممکن است که بتوانیم از تاثیرپذیری امواج گرانشی‌ای که از بیرون سامانه می‌آیند جلوگیری کنیم» (Smolin 2015, 92). زمانی که سامانه‌ای را منزوی در نظر می‌گیریم، از برهم‌کنش‌ها چشم‌پوشی کرده‌ایم. بنابراین، طرح‌وارهٔ نیوتنی تصویری کاملاً دقیق از جهان ارائه نمی‌کند، بلکه تقریبی ارائه می‌کند که البته در بسیاری از موارد موفق بوده است.

طرح‌وارهٔ نیوتنی سه ویژگی مهم دارد: اول، این طرح‌واره بر تمایز قاطع سینماتیک از دینامیک مبتنی است. دوم، اسمولین متذکر می‌شود که هر دوی سینماتیک و دینامیک به‌نحوی «بی‌زمان» (Smolin 2015, 91) صورت‌بندی می‌شوند، یعنی به‌نحوی که ساختارهای به‌کار گرفته‌شده در این صورت‌بندی‌ها با گذر زمان دستخوش تغییر نمی‌شوند.

> حالت‌ها به آماده‌سازی‌های ممکن یا اندازه‌گیری‌های کامل مربوط هستند که از سوی مشاهده‌گری انجام می‌شوند که از ابزارهایی بهره‌می‌گیرد که خارج از سامانه قرار داده شده اند. تحول [زمانی] نسبت به ساعتی تعریف می‌شود که خارج از سامانه واقع است. برای معین‌کردن حالت سامانه در زمان‌های t_1، t_2، ... اندازه‌گیری در هر زمان صورت می‌پذیرد. حاصل به صورت $\{p(t_1), p(t_2), \ldots\}$ ثبت می‌شود. این نتیجه، به محض ثبت شدن، ایستا است و با گذر زمان تغییر نمی‌کند. بنابراین، کاملاً مناسب است که نتیجهٔ ثبت‌شده را به‌وسیلهٔ خم $\gamma(t)$ به تصویر بکشیم که مقدار γ در هر زمان با مقدار مربوطه در نتیجهٔ ثبت‌شده در آن زمان برابر است. این خم شیئی ریاضیاتی است و اشیاء ریاضی با گذر زمان دستخوش تغییر نمی‌شوند (Smolin 2015, 92).

سوم، طرح‌وارهٔ نیوتنی تصویری تحولی از سامانه‌ها را ارائه می‌کند که بر خلاف نامش، به درون مرزهای مکانیک نیوتنی محدود نمی‌شود، بلکه گسترهٔ به‌کارگیری آن مکانیک کلاسیک، مکانیک کوانتومی، نسبیت عام، نظریهٔ میدان‌های کوانتومی، گرانش کوانتومی و بسیاری از

مدل‌های محاسباتی را نیز در می‌نوردد (نک. Unger and Smolin 2015 (p. 359)، Smolin 2015 و نیز Wharton 2015).[۴]

۳. مغالطهٔ کیهان‌شناختی

اسمولین طرح‌وارهٔ نیوتنی را اساس این ادعا می‌داند که «زمان بنیادی نیست». از نظر اسمولین، در طرح‌وارهٔ نیوتنی زمان چیزی نیست جز پارامتری بر روی مسیری در فضای حالت‌ها، و نه بخشی ذاتی از قانون طبیعی.

> زمان در طرح‌وارهٔ نیوتنی پارامتری است که به کار برچسب‌زدن بر نقاط مسیری می‌آید که تحول سامانه را در فضای پیکربندی توصیف می‌کند. زمانی که سامانه کوچک و منزوی است، این پارامترِ زمانی به خوانشِ ساعتی بر روی دیوار آزمایشگاه ناظر ارجاع دارد و ویژگی آن سامانهٔ محسوب نمی‌شود. زمانی که می‌خواهیم این مفهوم را درخصوص جهان به‌مثابهٔ یک کل به‌کار گیریم، این پارامتر زمانی باید ناپدید شود. برخی تلاش کرده‌اند که استدلال کنند که این به منزلهٔ ناموجود بودن خود زمان در مقیاس کیهان‌شناختی است؛ اما این نتیجه‌گیری نادرست است. آنچه که ناپدید می‌شود زمان نیست، بلکه ساعت خارج از سامانه است که اینک مفهومی پوچ است زیرا هرچه که وجود دارد همان جهان است (Smolin 2009, 24).

از نظر اسمولین این ادعا که «زمان بنیادی نیست» نمی‌تواند به‌نحو معتبری از کارامدی طرح‌وارهٔ نیوتنی استنتاج شود، زیرا این استدلال که «طرح‌وارهٔ نیوتنی همواره کارامد است؛ در طرح‌وارهٔ نیوتنی زمان بنیادی نیست؛ بنابراین، زمان بنیادی نیست» مغالطه است. زمانی که حرکت متحرکی را مشاهده می‌کنیم، اندازه‌گیری‌هایی از موقعیت متحرک را ثبت می‌کنیم. نتایج به‌دست‌آمده را می‌توان در فضای حالت‌ها به صورت خمی تصویر کرد که نقاط آن وضعیت‌های آن متحرک را بازنمایی می‌کنند. این نمودار بی‌زمان است، از این جهت که بازنماییِ موقعیت‌های ثبت‌شدهٔ حرکتی پایان‌یافته است که دیگر دستخوش تغییر نخواهد شد. اینکه می‌توانیم چنین کنیم، به منزلهٔ آن نیست که حرکت واقعی نیز بی‌زمان بوده است یا اینکه «در ورای تحول زمانی جهان واقعی [نیز] نموداری، یعنی شیء ریاضیِ بی‌زمانی، مربوط به آن وجود دارد. [...] این یک خیال صرفاً ریاضیاتی است، که از علم [تجربی] بر نمی‌خیزد» (Smolin 2009, 24).[۵] درست همان‌طور که از اینکه توصیفی ریاضی از جهان وجود دارد نمی‌توانیم نتیجه بگیریم که جهان هویتی ریاضیاتی است، از اینکه توصیف ریاضی مذکور بی‌زمان است نیز

نمی‌توان نتیجه گرفت که جهان بی‌زمان است. اسمولین این مغالطه را مغالطهٔ کیهان‌شناختی می‌نامد. از دید او، منشاء این خطا و دلیل مغالطه بودن چنین استدلالی عدم توجه به این نکته است که طرح‌وارهٔ نیوتنی درخصوص جهان به‌مثابهٔ کل کارامد نیست.

> نادیده گرفتن این نکته و تلاش برای گسترش کاربرد پارادایم نیوتنی تا حدی که جهان به‌مثابهٔ یک کل را نیز دربر گیرد، دچارشدن به مغالطهٔ کیهان‌شناختی است. نمونه‌ای مهم از مغالطهٔ کیهان‌شناختی و نتیجه‌گیری اشتباهی از آن این ادعا است که تعبیر صحیح معادلات کیهان‌شناسی کلاسیک یا کوانتومی آن است که جهان بی‌زمان است. مدل‌های کلاسیک و کوانتومی کیهان‌شناسی بی‌زمان هستند چون محصول به‌کارگیری روش و صورت‌بندی‌ای هستند درخصوص سامانه‌ای فاقد ساعت خارجی، در حالی که زمینهٔ تجربی آن روش و آن صورت‌بندی مستلزم وجود ساعتی خارج از سامانه است. این نتیجه‌گیری از صورت‌بندی نسبیت عام کلاسیک یا کوانتومی‌شده که جهان بی‌زمان است، مغالطه است (Smolin 2015, 92).

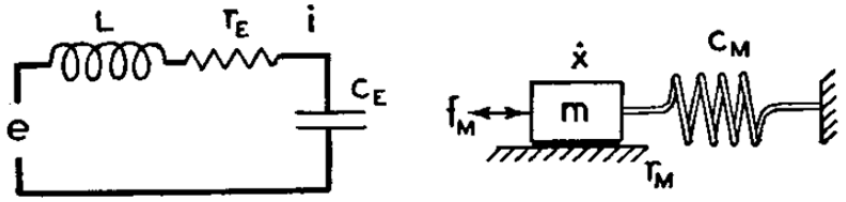
اسمولین متذکر می‌شود که ابداً روشن نیست که طرح‌وارهٔ نیوتنی درخصوص جهان به‌مثابهٔ کل قابل به‌کارگیری باشد. او معتقد است که با توجه به مشکلات فراوانی که کیهان‌شناسی کلاسیک و کوانتومی با آن روبه‌رو هستند و با توجه به اینکه این دو به‌طور وسیعی بر طرح‌وارهٔ نیوتنی مبتنی هستند، تصویری درست از جهان به‌مثابهٔ یک سامانه نمی‌تواند بر این طرح‌واره مبتنی باشد. این مطلب دلیل نسبتاً روشنی دارد: شواهد تجربی مؤید جدایی‌پذیری مفهوم قانون از مفهوم شرایط اولیه در کیهان‌شناسی وجود ندارد. می‌توان سامانه‌ای را با پیکربندی‌های گوناگون آماده کرد و مورد آزمایش یا مشاهده قرار داد، اما نمی‌توان جهان را با پیکربندی‌های گوناگون بر پا ساخت و مورد آزمایش یا مشاهده قرار داد؛ جهان یکتا است. تنها یک کیهان وجود دارد، بنابراین «روشن نیست که قانون عمومی در اینجا چه معنایی می‌تواند داشته باشد» (Unger and Smolin 2015, 375، تاکید از ما است). همچنین، «اگر تنها یک جهان وجود دارد، موجه نیستیم که میان قانون و شرایط اولیه تمایز قائل شویم زیرا می‌خواهیم آن قانون تنها تاریخچهٔ تنها جهان ما را تبیین کند» (Smolin 2009, 24).

ممکن است اعتراض شود که استدلال مخالف این نیست که «طرح‌وارهٔ نیوتنی همواره کارامد است؛ در طرح وارهٔ نیوتنی زمان بنیادی نیست؛ بنابراین، زمان بنیادی نیست». در حقیقت استدلال او اصلاً استدلالی قیاسی نیست، بلکه استدلالی استقرایی، فرضیه‌رُبا(abduction) یا نوعی

استنتاجِ بهترین تبیین(Inference to the best explanation (IBE)) است. مثلاً استدلال او می‌تواند این طور صورت‌بندی شود:

- طرح‌وارهٔ نیوتنی در بیشتر اوقات، اگر نگوییم همهٔ موارد، موفق بوده است؛
- بنابراین، به احتمال بسیار زیادی طرح‌وارهٔ نیوتنی درخصوص جهان به‌مثابهٔ کل نیز کارامد است؛
- در طرح‌وارهٔ نیوتنی زمان بنیادی نیست؛
- بنابراین، زمان بنیادی نیست.

پاسخ اسمولین این خواهد بود که سطر دوم استدلال فوق کاذب است، زیرا میزان موفقیتِ به‌کارگیریِ طرح‌وارهٔ نیوتنی «وابسته به بافتار» است و «این وابستگیِ به بافتار [...] از ترسیم هر نتیجهٔ متافیزیکی جهان‌شمولی از موفقیت پارادایم نیوتنی جلوگیری می‌کند؛ زیرا چنین نتیجه‌ای بر کاربرد این پارادایم درخصوص تمام جهان مبتنی است» (Smolin 2015, 92). تمام کاربردهای طرح‌وارهٔ نیوتنی که تاکنون موفق از کار در آمده‌اند دربارهٔ زیرسامانه‌های جهان بوده‌اند، و نه خود جهان. سطر دوم استدلال فوق هیچ پشتوانهٔ تجربی ندارد. ممکن است گفته شود پشتوانهٔ آن نوعی تشبیه(analogy) است، از همان نوعی که عموماً در فیزیک کارامد بوده است. فیزیکدانان در مطالعهٔ سامانه‌ها به فراوانی از تشبیه بهره می‌گیرند. به عنوان مثال، مداری الکتریکی حاوی پیل الکتریکی، یک مقاومت، یک خازن و یک القاگر که به‌طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند شبیه به جرمی بسته‌شده به یک فنر است که تحت تاثیر اصطکاک نوسان می‌کند (شکل ۱).[۶]



شکل ۱. سمت راست: سامانه مکانیکی حاوی جرم دارای اصطکاک و فنر.
سمت چپ: سامانه الکترومغناطیسی حاوی پیل، خازن، مقاومت و القاگر. (Olson 1943, 26)

این مثال نشان می‌دهد که می‌توان از شباهت سامانه‌ای مکانیکی به سامانه‌ای الکترومغناطیسی استفاده کرد و با مطالعهٔ یکی در مورد دیگری نیز آموخت (Olson 1943, 25-

27).[۷] در حقیقت، کیهان‌شناسان نیز برای آموختن دربارهٔ جهان به‌طور گسترده‌ای از تشبیه‌ها بهره می‌گیرند.[۸] اما اسمولین در واقع همین استفاده از تشبیه را نامعتبر می‌داند. او معتقد است که چنین تشبیهی نمی‌تواند درخصوص جهان به‌مثابهٔ کل به‌کار گرفته شود و همهٔ تجربیات موفق ما از به‌کارگیری چنین تشبیه‌هایی تاکنون دربارهٔ زیرسامانه‌های جهان بوده‌اند و نه درخصوص خود جهان. بنابراین، سطر دوم استنتاج بر مبنای بهترین تبیین فوق کاذب است و طرح‌وارهٔ نیوتنی در تبیین جهان به مثابهٔ یک کل موفق نیست.

۴. سوءتفاهمی به نام چندجهانی

اسمولین قدم دیگری نیز برمی‌دارد و نتیجه می‌گیرد که آنچه به فرضیهٔ چندجهانی می‌انجامد نیز همین پایبندی به طرح‌وارهٔ نیوتنی است در جایی که این طرح‌واره کارامد نیست. فرضیهٔ چندجهانی از دید او فرضیه‌ای باطل است که طبق آن

> [...] ویژگی‌هایی که موفق به تبیین آن‌ها نمی‌شویم، همچون [مقدار] پارامترهای مدل‌های استاندارد فیزیک و کیهان‌شناسی، به‌طور تصادفی توزیع شده اند. این انصراف از امید برای یافتن دلیل کافی و انصراف از امید به سیراب کردن کنجکاوی‌مان که انگیزه حرکت است، چیزی نیست مگر نشانه‌ای از شکست فلسفه‌ای که به اشتباه بخش جدایی‌ناپذیر علم تصور شده است (Unger and Smolin 2015, 357).[۹]

از دید اسمولین آنچه اتفاق افتاده است این است: ما طرح‌وارهٔ نیوتنی را در جایی به کار گرفته‌ایم که این طرح‌واره ناکارامد بوده است و در نتیجه، به‌کارگیری آن از اساس نامعتبر بوده است.[۱۰] سپس، زمانی که با چالش‌های این تصمیم نادرست روبه‌رو شده‌ایم، به‌جای اینکه به عقب بازگردیم و ریشهٔ مشکل را شناسایی و مرتفع کنیم، دستِ پیش را گرفته‌ایم و فرض کرده‌ایم که جهان ما زیرسامانه‌ای از سامانه‌ای بزرگ‌تر، یعنی چندجهانی، است.

> ما همان‌گونه فیزیک‌ورزی می‌کنیم که به ما آموخته شده است؛ اما این یک تله است زیرا برای این کار باید ساختارهایی را به‌کار بگیریم که معنای عملیاتی(operational significance) ندارند. از نظر ما بهتر آن است که طرح‌وارهٔ نیوتنی را در کیهان‌شناسی ناکارامد بدانیم و به دنبال معنای دیگری از قانون بگردیم که زمانی که درخصوص جهان به‌مثابهٔ یک کلِ تکین(singular) به‌کارگرفته می‌شود، معنادار باشد (Smolin 2009, 24).

این گسترش ناموجه و نامعتبر دامنهٔ کاربرد طرح‌وارهٔ نیوتنی، از زیرسامانه‌های جهان به کیهان به‌مثابهٔ یک کل، سبب کاهش کفایت تجربی طرح‌وارهٔ نیوتنی می‌شود، و نه افزایش آن. اسمولین این معضل را «دوراهی کیهان‌شناختی»(Cosmological dilemma) نامیده است. وضعیت دوراهی‌گونه‌ای که با آن مواجه هستیم چنین است: قانونی به‌ظاهر عمومی داریم که موید تجربی آن کارایی موفق آن در بسیاری از موارد، اگر نگوییم همهٔ مواردی، است که زیرسامانه‌ای از جهان را مورد بررسی قرار می‌دهیم. اما «کارایی موفق تجربی» همواره تقریبی است، یعنی تا حدی از دقت که در آن بررسی لحاظ شده است، نتیجه موفقیت‌آمیز بوده است. در فرایند تقریب‌زدن متداول در علوم تجربی، از برخی برهم‌کنش‌های زیرسامانه با محیط اطرافش صرف‌نظر می‌شود و برای بهترکردن تقریب باید آن برهم‌کنش‌هایی را که پیشتر از آن‌ها صرف‌نظر شده بود، به صورت گام‌به‌گام به دامنهٔ مورد بررسی افزود. به بیان دیگر، «برای آن‌که کاربرد آن قانون [عمومی] دقیق‌تر شود، باید مرزهای زیرسامانه را به‌نحوی گسترش داد که برهم‌کنش‌های مجموعهٔ گسترش‌یابنده‌ای از درجات آزادی و دینامیک آن‌ها را دربر گیرد» (Unger and Smolin 2015, 376). بدین‌ترتیب، نتیجه به صورت مرحله‌به‌مرحله دقیق‌تر می‌شود. اما حد بالای این فرایند افزایش دقت کجاست؟ در اینجاست که دوراهی کیهان‌شناختی ظاهر می‌شود. اگر فرض کنیم که حد بالای افزایش دقت وجود ندارد و می‌توان دائماً نتیجه بررسی را دقیق‌تر کرد، یعنی اگر بپذیریم که می‌توان با افزودن گام‌به‌گام نتیجهٔ همهٔ برهم‌کنش‌های موجود در جهان به نتیجهٔ تقریبی بررسی زیرسامانهٔ موردنظر دقت را افزایش داد، آنگاه نهایتاً به مرحله‌ای می‌رسیم که خود را در حال بررسی کل جهان می‌یابیم. اما در این وضعیت، چنان‌که پیشتر استدلال شد، دیگر قانون عمومی معنای خود را از دست داده است و از شرایط اولیه تفکیک‌پذیر نیست. بنابراین، آنچه که در پی افزایش دقت آن بودیم، طی فرایند افزایش دقت محو می‌شود، زیرا «در این وضعیت تنها یک سامانه و تنها یک امکان اندازه‌گیری باقی می‌ماند. بنابراین، بافتار عملیاتی‌ای که در آن مفهوم قانون عمومی تعریف می‌شود دیگر قابل به‌کارگیری نیست» (ibid).

راه دیگر آن است که بپذیریم قانون عمومی ما دقیق‌تر از حدی نخواهد شد. اما این حد کجاست؟ پاسخ روشن نیست. علاوه‌براین، در صورت پذیرش این مطلب دیگر موجه نیستیم که قانون عمومی را درخصوص کل جهان به‌کار گیریم. قرار گرفتن بر سر این دوراهی به‌منزلهٔ شکست روش‌شناسی علمی مرسوم است، زیرا هر کدام از مسیرهای پیش‌رو را که برگزینیم به شکست خواهد انجامید.

همچنین، مخالفت اسمولین با فرضیهٔ چندجهانی بخشی به دلیل آن است که او معتقد است این فرضیه به‌لحاظ تجربی آزمون‌پذیر نیست و بنابراین، نباید علمی دانسته شود. او از اینکه فیزیکدانان به‌طور گسترده، حتی در سمینارهای علمی، از مفهوم چندجهانی استفاده می‌کنند[۱۱] ناخشنود است. با این وجود، باور او مخالفان مهمی دارد. مارتین ریس، کیهان‌شناس برجسته، معتقد است که فرضیهٔ چندجهانی علمی، آزمون‌پذیر و احتمالاً صحیح است. او متذکر می‌شود که اگر «جهان» را به‌صورت «هر آنچه که وجود دارد» تعریف کنیم، بدیهی است که چندجهانی بی‌معنا خواهد بود، اما اگر آن را به‌صورت «ناحیه‌ای از فضازمان که دربرگیرندهٔ هر آن چیزی است که منجمان می‌توانند مشاهده کنند» تعریف کنیم، چندجهانی کاملاً ممکن است. همچنین، او برای توضیح آزمون‌پذیری فرضیهٔ چندجهانی به سناریویی اشاره می‌کند که اسمولین خود پیشنهاد کرده است. بر اساس این سناریو در میان جهان‌های چندجهانی نوعی توارث وجود دارد و بذر جهان‌های نو در درون سیاهچاله‌های جهان والد کاشته می‌شود.

> اگر حق با اسمولین باشد، جهان‌هایی که سیاهچاله‌های زیادی تولید می‌کنند، از نوعی مزیت تولیدمثلی برخوردارند که به نسل‌های بعدی منتقل می‌شود. اگر جهان ما محصول چنین فرایندی باشد، باید تمایلی نزدیک به بیشینه برای تولید سیاهچاله‌ها داشته باشد، به این معنی که هر تغییر اندکی در قوانین و ثوابت آن احتمال تولید سیاهچاله‌ها را کاهش می‌دهد. من شخصاً گمان می‌کنم سناریوی اسمولین با احتمال اندکی درست از کار در خواهد آمد، اما شایستهٔ ستایش است از این جهت که نمونه‌ای است از اینکه چطور یک نظریهٔ چندجهانی می‌تواند علی‌الاصول ابطال‌پذیر باشد. این [مثال] نشان می‌دهد که برخی اظهارات دربارهٔ جهان‌های دیگر می‌توانند ابطال‌پذیر باشند، درست همان‌طور که هر فرضیهٔ خوبی در علم باید چنین باشد (Rees 2003, 219).

چندجهانی مفهومی چالش‌برانگیز است که موافقان[۱۲] و مخالفان[۱۳] فراوانی دارد. بررسی مناقشه بر سر وجود چندجهانی از اهداف این نوشتار نیست؛[۱۴] آنچه برای بحث ما ضروری است توجه به این نکته است که برخلاف نظر اسمولین، برخی تلاش کرده‌اند تا از آزمون‌پذیری تجربی فرضیهٔ چندجهانی دفاع کنند.

۵. بحرانی عمیق‌تر و نیاز به الگویی جدید

علاوه‌بر دو فرضیهٔ ناخوشایند غیربنیادی بودن زمان و واقعی بودن چندجهانی که محصول به‌کارگیری طرح‌وارهٔ نیوتنی در حوزه‌ای نامعتبر هستند، مشکل دیگری نیز وجود دارد: از منظر

اسمولین طرح‌وارهٔ نیوتنی از تلاش برای پاسخ‌گویی به سه پرسش کیهان‌شناختی مهم نیز عاجز است:

۱. چرا این قوانین دینامیکی خاص، و نه قوانین دیگری، بر جهان حکم‌فرما هستند؟

۲. چرا جهان با این شرایط اولیهٔ خاص، و نه شرایط دیگری، آغاز شده است؟[۱۵]

۳. چرا جهان، پس از گذشت حدود ۱۴ بیلیون سال، هنوز به تعادل ترمودینامیکی نرسیده است؟

قوانین دینامیکی و شرایط اولیه «ورودی»های طرح‌وارهٔ نیوتنی هستند، و نه «خروجی»های آن. بنابراین، می‌توان گفت که دلبخواهی بودن انتخاب آن‌ها نشانهٔ آن است که طرح‌وارهٔ نیوتنی دو پرسش نخست را مسکوت می‌گذارد. پرسش سوم را حالت خاصی از پرسش دوم می‌توان قلمداد کرد: پاسخ این پرسش در چارچوب طرح‌وارهٔ نیوتنی می‌تواند این باشد که کیهان با شرایط مرزی‌ای آغاز شده که بر مبنای آن آنتروپی اولیهٔ کیهان چنان کم بوده است که پس از گذشت حدود ۱۴ میلیارد سال نیز افزایش آن، بر طبق قانون دوم ترمودینامیک، هنوز نتوانسته است به رسیدن به بیشینهٔ آنتروپی در وضعیت تعادل ترمودینامیکی بیانجامد.[۱۶] بنابراین، پرسش سوم اکنون این است که: چرا جهان با وضعیتی تا این حد نامحتمل آغاز شده است؟ اسمولین این سه پرسش را اساسی‌ترین چالش‌های پیش‌روی کیهان‌شناسی کنونی می‌داند که ریشهٔ آن‌ها در کاربست نادرست طرح‌وارهٔ نیوتنی است.

جایگزین طرح‌وارهٔ نیوتنی چه چیزی می‌تواند باشد؟ اسمولین پیشنهاد به‌خصوصی را مطرح نکرده است، تنها اشاره می‌کند که چاره در پذیرش «طبیعی‌گرایی زمان‌مند»(temporal naturalism) است. او متذکر می‌شود که پاسخ کاملی برای این پرسش در دست نیست که «فیزیک بدون تمایز قاطع میان قانون و شرایط اولیه چگونه خواهد بود؟»؛ اما سه نکته مسجل است: اول، به‌کارگیری مفهوم «چندجهانی» موجه نیست و «قانون»ی که در کیهان‌شناسی کارامد است باید تنها برای یک و تنها یک جهان، یعنی جهان واقعی ما، به‌کار گرفته شود. دوم، زمان واقعی و بنیادی است. سوم، قانون در کیهان‌شناسی قانونی بیرون از زمان نمی‌تواند باشد، بلکه درون زمان جای دارد و با زمان دست‌خوش تغییر می‌شود، «قانونی که در آن تمایز میان روایت تک‌زمانی از تاریخچهٔ تنها جهان و اصولی که بر آن تاریخچه حاکم هستند کمرنگ شود» (Smolin 2009, 26).

در عین حال، اسمولین به مطلب دیگری نیز اشاره کرده است که می‌تواند راهنمایی برای غلبه بر بحران فیزیک و کیهان‌شناسی مدرن باشد. او متذکر شده است که در ورای «بحران» مورد بحث ما، بحرانی گسترده‌تر قرار دارد، بحرانی پیش‌روی فلسفهٔ مکانیکی یا، نسخهٔ تناسخ یافتهٔ آن، یعنی فلسفهٔ محاسباتی.[۱۷]

> این ایدهٔ سرمست‌کننده که هر چیزی که وجود دارد طبیعی و فیزیکی است اکنون بیش از هر زمان دیگری پذیرفتنی به‌نظر می‌رسد، بخشی به دلیل پیشرفت‌های فیزیک و فناوری‌های دیجیتال، اما بیشتر به‌خاطر راه‌بردهای فروکاست‌گرایانه در زیست‌شناسی و پزشکی. اما این ایده بابت پذیرش این استعارهٔ قدیمی که بر طبق آن جهان یک ماشین است، هنوز در بحران است. در تجدید حیات جدیدش، فلسفهٔ مکانیکی در قالب فلسفهٔ محاسباتی ظاهر شده است، که بر طبق آن هر چیزی، از جمله خود ما، رایانهٔ دیجیتالی است که از روی الگوریتمی ثابت به پیش می‌رود، یا با چنین رایانه‌ای یک‌ریخت (isomorphic) است (Unger and Smolin 2015, 356).

طرح‌وارهٔ نیوتنی جهان را همچون سازوکاری محاسباتی می‌پندارد که وضعیت‌های اولیه را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و وضعیت‌های آتی را به‌عنوان خروجی یا محصول آن سازوکار محاسباتی تولید می‌کند.

از منظر اسمولین ریشهٔ بحران کنونی در فیزیک آن است که طبیعی‌گرایی مرسوم خود را پایبند به این آموزه کرده است که «جهان نوعی ماشین است»، یا معادلاً اینکه «جهان نوعی رایانه است». سایرین نیز به این مطلب پرداخته اند. به عنوان نمونه‌ای مهم، وارتون به مشکلات طرح‌وارهٔ نیوتنی در تبیین پدیده‌های کوانتومی به تفصیل پرداخته است (نک. Wharton 2013a; 2015a).

همچنین، طرح‌وارهٔ نیوتنی ارتباط مفهومی ناگسستنی‌ای دارد با رویکردی درخصوص قوانین طبیعت موسوم به «تولید پویا»(Dynamic Production) که بر مبنای آن قوانین حاکم بر طبیعت معادلات دیفرانسیلی بر حسب زمان هستند که با دریافت وضعیت سامانه در لحظه‌ای معین به عنوان ورودی، وضعیت بعدی آن را به عنوان خروجی تولید می‌کنند. آدلام (Adlam 2022) و چن و گولدشتاین (Chen and Goldstein 2022) متذکر شده‌اند که تولید پویا با نقدهایی روبه‌رو است که برخی از مهم‌ترین آن‌ها از این قرار اند: ۱. مفاهیم موجبیت‌گرایی و پیش‌بینی‌پذیری را به خوبی از هم متمایز نمی‌کند. حال آن‌که این مفاهیم به طور عرفی از یکدیگر متمایز هستند: موجبیت‌گرایی غالباً مفهومی متافیزیکی دانسته می‌شود؛ در حالی که

پیش‌بینی‌پذیری عموماً مفهومی معرفت‌شناختی محسوب می‌شود. ۲. به دلیل عدم توفیق در تبیین پدیدهٔ ناموضعیت کوانتومی و آزمایش‌های انتخاب با تاخیر،(Delayed choice experiments) تصویر متافیزیکی مطلوبی از فیزیک کوانتومی در اختیار نمی گذارد. و ۳. مشخص نیست که چطور می‌توان آن را به‌نحو مناسبی درخصوص فضازمان‌هایی به‌کار گرفت که دربردارندهٔ «اولین» لحظهٔ زمان نیستند، همچون فضازمان‌هایی که دربردارندهٔ تکینگی اولیه هستند یا فضازمان‌هایی که دربردارندهٔ خم‌های بستهٔ زمان‌گونه هستند، مثلاً فضازمان گودل. این انتقادات با تغییری ظاهری در نحوهٔ بیان به طرح‌وارهٔ نیوتنی وارد می‌آیند.

طرح‌وارهٔ نیوتنی و آموزهٔ اساسی آن که جهان را محاسبه‌پذیر یا همچون رایانه‌ای می‌پندارد که ورودی‌هایی را دریافت و خروجی‌هایی را تولید می‌کند، علی‌رغم اینکه کاملاً فراگیر است و تردیدناپذیر به نظر می‌رسد، اکنون بیش از هر زمانی مورد تردید قرار گرفته است.

۶. انسان‌محوری

اما چطور ممکن است نگرشی تا این اندازه فراگیر نادرست باشد؟ وارتون نکته‌ای را متذکر شده است که در عین اینکه روشن می‌سازد خطای طرح‌وارهٔ نیوتنی در چیست، همچنین روشن می‌سازد که چرا این آموزه تا این حد فراگیر است و بر ذهن بیشتر فیزیک‌دانان و فلاسفه مستولی است. او متذکر می‌شود که طرح‌وارهٔ نیوتنی انسان‌محورانه است، به این معنی که جهان فیزیکی را همان‌طوری تصور می‌کند که ما انسان‌ها مسائل فیزیک را حل می‌کنیم.

> اگر نقادانه بنگریم، [طرح‌وارهٔ نیوتنی] دقیقاً همان نوعی از استدلال انسان‌محورانه است که فیزیک‌دانان از آن روی گردانند. این فرضیه در اساس این است که روشی که ما انسان‌ها مسائل فیزیک را حل می‌کنیم، باید همان طریقی باشد که جهان برطبق آن عمل می‌کند (Wharton 2015a, 178).

از منظر انسان‌محورانه، ما انسان‌ها در مرکز جهان قرار داریم. خوانش معرفت‌شناختی این ادعا آن است که دانش علمی ما، یعنی توصیف‌ها و تبیین‌های ما از پدیده‌های طبیعی، به‌نحوی است که گویا ما انسان‌ها در مرکز جهان قرار گرفته‌ایم و تاریخچهٔ آن را روایت می‌کنیم.[۱۸] اما خوانشی هستی‌شناختی نیز از انسان‌محوری وجود دارد که همان است که وارتون با آن مخالف است. بر مبنای انسان‌محوری هستی‌شناختی جهان همان‌طوری است که ما انسان‌ها به اندیشیدن دربارهٔ آن بدان شیوه خو گرفته‌ایم. برطبق این نوع از انسان‌محوری جهان همان‌گونه است که

فهم‌متعارفی به ما می‌گوید. اگر فهم‌متعارفی ما حکم می‌کند که خورشید به دور زمین می‌گردد، پس این خورشید است که به دور زمین می‌گردد. این همان نوع خطایی است که به نظریهٔ زمین‌مرکزی انجامید. خطایی که بیش از دوهزار سال نظریهٔ غالب درخصوص ساختار منظومهٔ شمسی بود. اکنون همین خطا خود را در قالب دیگری متجلی ساخته است: طرح‌وارهٔ نیوتنی جهان را به‌مثابهٔ رایانه‌ای درنظر می‌گیرد که ورودی‌هایی را دریافت می‌کند و سپس قوانین حاکم بر آن خروجی‌هایی را تولید می‌کنند. این مطلب با دریافت دست اول ما از جهان هم‌خوانی دارد چراکه، دست‌کم از زمان نیوتن، ما انسان‌ها مسائل فیزیک را در قالب معادلات دیفرانسیلی بر حسب زمان صورت‌بندی و حل کرده‌ایم.

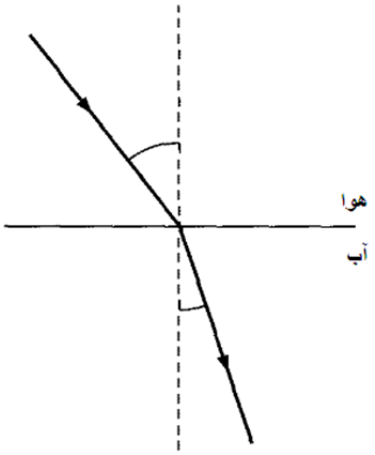
گرچه طرح‌وارهٔ نیوتنی با تجربیات روزمره و فهم متعارفی ما هم‌خوان است، اما این مطلب کافی نیست که آن را چارچوب متافیزیکی مناسبی برای نظریه‌های فیزیکی قلمداد کنیم.[۱۹] به‌طور ویژه باید توجه کرد که شناخت سطح بنیادی واقعیت وظیفه‌ای است که بر دوش نظریه‌های فیزیکی گذاشته شده است و نه فهم متعارفی؛ سطح بنیادی واقعیت جهان آن چیزی نیست که ما به‌واسطهٔ فهم‌متعارفی به آن دسترسی داشته باشیم. گرچه این مطلب مخالفان و منتقدانی دارد و حتی ممکن است اشتباه باشد، اما دست‌کم فضای حاکم بر فیزیک و فلسفهٔ فیزیک سالیان اخیر، بلکه قرن اخیر، با آن هم‌سو بوده است.

۷. طرح‌وارهٔ لاگرانژی

اگر طرح‌وارهٔ نیوتنی را کنار بگذاریم، چه چیزی برای ما باقی می‌ماند؟ آیا نوع دیگری از فیزیک‌ورزی برای ما شناخته‌شده است که دچار مشکلات طرح‌وارهٔ نیوتنی نباشد؟ چنان‌که گفته شد، اسمولین در این خصوص ساکت است. اما پیشنهاد وارتون این است که «طرح‌وارهٔ لاگرانژی» را جایگزین طرح‌وارهٔ نیوتنی کنیم (نک. Wharton 2013a; 2015a).[۲۰] برطبق طرح‌وارهٔ لاگرانژی معادلات حرکت از کمینه‌سازی کُنش به‌دست می‌آیند که انتگرال زمانی کمیتی نرده‌ای موسوم به لاگرانژی است. به‌عنوان مثال، در مکانیک نیوتنی، لاگرانژی چیزی نیست جز تفاوت میان انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل. بنابراین، بنابه طرح‌وارهٔ لاگرانژی، از میان همهٔ مسیرهای ممکن میان دو نقطه از فضای حالت‌های سامانه (با در نظرگرفتن قیدهایی که بر مسیرهای موجود لحاظ شده اند)، مسیری که سامانه در واقعیت طی می‌کند آن مسیری است که انتگرال زمانی اختلاف انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل را کمینه می‌کند. در حالت کلی، هر سامانهٔ

فیزیکی مسیری را در فضای حالت‌ها طی می‌کند که انتگرال زمانی لاگرانژی آن سامانه را کمینه کند.

نمونه‌ای شناخته‌شده از کاربرد اصول کمینه‌سازی در فیزیک، اصل فرما است که بر مبنای آن نور مسیری را طی می‌کند که به لحاظ زمانی کوتاه‌ترین مسیر ممکن باشد. اصل فرما توجیهی برای قانون بازتاب و شکست نور به‌طور هم‌زمان فراهم می‌آورد.[۲۱] به کمک این قانون می‌توان توضیح داد که چرا نور زمانی که از هوا وارد آب می‌شود مسیری شکسته را طی می‌کند به‌نحوی که مسیر آن در آب نسبت به مسیر آن در هوا زاویهٔ کوچکتری را تشکیل می‌دهد با خطی که در نقطهٔ برخورد پرتوی نور با سطح آب بر آن سطح عمود است: در یک محیط همگن کوتاه‌ترین فاصلهٔ میان دو نقطه به لحاظ زمانی همان پاره‌خط واصل آن دو نقطه است. اما از آنجا که نور در هوا نسبت به آب سریع‌تر حرکت می‌کند، زمانی که نقاط ابتدا و انتهای آن به ترتیب در هوا و در آب قرار گرفته باشند، کوتاه‌ترین مسیر به لحاظ زمانی مسیری است که بخش بیشتر آن در هوا و بخش کمتر آن در آب باشد. چنین مسیری خطی شکسته خواهد بود متشکل از دو پاره خط راست، یکی در هوا و یکی در آب. البته لازم است که اندازهٔ «بخش بیشتر» و «بخش کمتر» دقیقاً مشخص و به‌نحوی تنظیم شود که مدت زمان طی‌شدن مسیر توسط نور کمینه شود. این همان کاری است که حساب کمینه‌سازی برعهده می‌گیرد (شکل ۲).[۲۲]



شکل۲. مسیر حرکت نور هنگام عبور از هوا به درون آب.

اکنون پرسش این است که نور در نقطهٔ ابتدایی مسیر خود از کجا می‌داند که در ادامه وارد آب خواهد شد تا بتواند زاویه آغازین حرکت خود را به‌نحوی تنظیم کند که در انتها مشخص شود که مسیری که طی کرده است به‌لحاظ زمانی کمینه بوده است؟ در حالت کلی‌تر، سامانهٔ فیزیکی در ابتدا از کجا می‌داند که چگونه باید تحول زمانی خود را آغاز کند تا زمانی که به انتهای مسیر تحولی خود در فضای حالت می‌رسد کُنش آن کمینه شده باشد؟ چنان‌که وارتون متذکر شده است، طرح‌وارهٔ لاگرانژی از جهتی مهم با طرح‌وارهٔ نیوتنی تفاوت دارد: بر خلاف طرح‌وارهٔ نیوتنی، در طرح‌وارهٔ لاگرانژی رفتارهای سامانه‌ها توسط «زنجیره‌ای الگوریتم‌گونه از علت‌ها و معلول‌ها» (Wharton 2015a, 181) تبیین نمی‌شود، بلکه به‌صورت سراسری(global) تبیین می‌شود.[۲۳]

> به‌طور خلاصه، طرح‌وارهٔ لاگرانژی نگاشتی دوسویه و قابل معکوس‌سازی میان رویدادهای فیزیکی و پارامترهای ریاضیاتی است که آن پارامترها را به‌طور جزئی روی مرزی فضازمانی در ابتدا و انتها مقید می‌کند و سپس قانونی سراسری را برای به‌دست دادن پارامترهای نامقید به‌کار می‌گیرد. پارامترهای محاسبه‌شدهٔ حاصل را می‌توان [به کمک نگاشت دوسویهٔ مذکور] به هویات فیزیکی منتسب کرد (Wharton 2015a, 182. تاکید از ما است).

طرح‌وارهٔ لاگرانژی از منظری سراسری یا کل‌گرایانه بهره می‌برد. یوشیرو نامبو، فیزیکدان برجسته و برندهٔ جایزهٔ نوبل، نیز نکتهٔ مشابهی را، این بار درخصوص صورت‌بندی لاگرانژی نظریهٔ کوانتومی، متذکر شده است:

> نظریهٔ فاینمن [یعنی صورت‌بندی لاگرانژی مکانیک کوانتومی] گرچه از جهات بسیاری با مکانیک کوانتومی معمولی معادل است، اما آزادی و تنوع بسیار بیشتری را آشکار می‌سازد در روش‌هایی که می‌توان مسئلهٔ به‌خصوصی را تحلیل کرد. برای مثال، می‌توان برخی متغیرهای دینامیکی، یعنی میدان‌ها، را حذف کرد و کنش از دور معادلی را جایگزین کرد. گرچه اگر چنین کنیم، سامانهٔ دینامیکی همتای حاصل در چارچوب صورت‌بندی هامیلتونی مرسوم جای نمی‌گیرد و باید سامانه‌ای «ناموضعی» در نظر گرفته شود، یعنی سامانه‌ای که [به‌جای معادلات دیفرانسیلی] از معادلات انتگرالی به‌عنوان معادلات حرکت آن باید استفاده کرد. در پرتوی این دستاورد، وسوسه‌کننده است که تحقیقات خود را به‌نحوی گسترش دهیم که سامانه‌های با مشتقات مرتبهٔ بالاتر، از جمله سامانه‌های ناموضعی، را نیز شامل شوند (Nambu 1952, 2).

بنابراین، طرح‌وارهٔ نیوتنی و طرح‌وارهٔ لاگرانژی، از جهت متافیزیکی که پیش‌فرض آن‌ها است، دارای تفاوت مهمی هستند: در حالی که طرح‌وارهٔ لاگرانژی منظری سراسری و کل‌گرایانه دارد، طرح‌وارهٔ نیوتنی از منظری موضعی(local) و تقلیل‌گرایانه بهره‌مند است.[۲۴]

۸. مزایای طرح‌وارهٔ لاگرانژی

چنان‌که در بخش قبل گفته شد، طرح‌وارهٔ لاگرانژی رویکردی سراسری و کل‌گرایانه دارد. همین مطلب سبب شده است که وارتون مدعی شود که طرح‌وارهٔ لاگرانژی، به‌عنوان تصویر متافیزیکی زیربنای نظریهٔ کوانتومی، با مشکلاتی مواجه نیست که طرح‌وارهٔ نیوتنی با آن‌ها روبه‌رو است. همچنین، او معتقد است که گرچه بهترین دلیل ما برای برگزیدن طرح‌وارهٔ لاگرانژی مبتنی بر حوزهٔ کوانتومی است؛ اما در حوزهٔ غیرکوانتومی نیز می‌توان شواهدی از برتری طرح‌وارهٔ لاگرانژی نسبت به طرح‌وارهٔ نیوتنی یافت (نک. Wharton 2015a).[۲۵] ما در اینجا قصد ارزیابی ادعاهای او را نداریم؛ در عوض، به انتقادات اسمولین بازمی‌گردیم و استدلال خواهیم کرد که طرح‌وارهٔ لاگرانژی از برخی انتقادات اسمولین به طرح‌وارهٔ نیوتنی مبرا است.

انتقادات اسمولین به طرح‌وارهٔ نیوتنی را می‌توان این‌طور خلاصه کرد:

- به‌کارگیری طرح‌وارهٔ نیوتنی درخصوص جهان به‌مثابهٔ یک کل به دچارشدن به مغالطهٔ کیهان‌شناختی می‌انجامد.
- در طرح‌وارهٔ نیوتنی زمان پارامتری است که توسط ساعتی واقع در خارج از سامانه اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین، زمان در طرح‌وارهٔ نیوتنی غیربنیادی است. از همین روی، به‌کارگیری آن درخصوص جهان به‌مثابهٔ یک کل به نتیجه نامطلوبِ غیرواقعی دانستن زمان می‌انجامد.
- به‌کارگیری طرح‌وارهٔ نیوتنی درخصوص جهان به‌مثابهٔ یک کل به باور به وجود چندجهانی می‌انجامد که باوری غیرعلمی است.
- به‌کارگیری طرح‌وارهٔ نیوتنی درخصوص جهان به‌مثابهٔ یک کل به وضعیت دوراهی‌گونه‌ای می‌انجامد که یا به پذیرش نادقیق و ناکامل بودن قانون عمومی‌ای که برای توصیف جهان قصد داریم به‌کار بندیم ختم می‌شود و یا به از دست رفتن بافتار عملیاتی‌ای منتهی می‌شود که مفهوم قانون عمومی در آن تعریف می‌شود. در هر دو حالت موجه نیستیم که آن قانون عمومی را دربارهٔ جهان به‌مثابهٔ یک کل به‌کار گیریم.

- به‌کارگیری طرح‌وارهٔ نیوتنی درخصوص جهان به‌مثابهٔ یک کل به بروز پرسش‌هایی می‌انجامد که پاسخ‌دادن به آن‌ها در چارچوب طرح‌وارهٔ نیوتنی امکان‌پذیر نیست.

اکنون اجازه دهید تا در هر مورد بررسی کنیم که آیا طرح‌وارهٔ لاگرانژی از آن انتقاد مبرا است یا خیر:

الف. مغالطه کیهان‌شناختی. چنان‌که در بخش ۳ گفته شد، ریشهٔ مغالطهٔ کیهان‌شناختی کذب این ادعا است که «به احتمال بسیار زیادی طرح‌وارهٔ نیوتنی درخصوص جهان به‌مثابهٔ کل نیزکارامد است». گفتیم که این ادعا پشتوانهٔ تجربی ندارد و بیش از هر چیز مبتنی بر تشبیهی است که به‌کارگیری آن درخصوص جهان به‌مثابهٔ کل، از نظر اسمولین، مجاز نیست. طرح‌وارهٔ نیوتنی از اساس به‌نحوی ساخته شده است که به‌کارگیری آن تنها به‌صورت موضعی و برای زیرسامانه‌های جهان مجاز است. درخصوص طرح‌وارهٔ لاگرانژی وضعیت مشابه نیست. چنان‌که در بخش ۷ گفته شد، طرح‌وارهٔ لاگرانژی از منظری سراسری و کل‌گرایانه بهره‌مند است. این طرح‌واره کاملاً مستعد آن است که درخصوص جهان به‌مثابهٔ یک کل به‌کارگرفته شود. برای این منظور تنها کافیست که موفقیت آن را درخصوص زیرسامانه‌های جهان به خاطر داشته باشیم و مایل باشیم که از تشبیهی استفاده کنیم مشابه آنچه که درخصوص طرح‌وارهٔ نیوتنی به‌کار گرفتیم. بنابراین، طرح‌وارهٔ لاگرانژی به مغالطهٔ کیهان‌شناختی دچار نیست.

ب. واقعی‌نبودن زمان. چنان‌که در بخش ۳ گفته شد، دلیل مخالفت اسمولین با غیرواقعی در نظر گرفتن زمان آن است که این آموزه نتیجهٔ مغالطهٔ کیهان‌شناختی است. بنابراین، اگر به‌کارگیری طرح‌وارهٔ لاگرانژی به مغالطهٔ کیهان‌شناختی دچار نباشد و هنوز، مانند طرح‌وارهٔ نیوتنی، به انکار وجود زمان در سطح بنیادی واقعیت منجر شود، دلیل اصلی مخالفت اسمولین با غیرواقعی دانستن زمان رنگ می‌بازد. بهترین نظریاتی که در حال حاضر دربارهٔ سطح بنیادی واقعیت فیزیکی در اختیار داریم، با تسامح، عبارت اند از نظریهٔ ریسمان و نظریهٔ گرانش کوانتومی حلقه‌ای(Loop quantum gravity) ، که اسمولین خود از بنیان‌گذاران و مدافعان دومی است.[۲۶] نظریات گرانش کوانتومی موجود، از جمله نظریهٔ گرانش کوانتومی حلقه‌ای، از صورت‌بندی‌های لاگرانژی و هامیلتونی بهره می‌گیرند. از همین روی، بعید است که نتوان طرح‌وارهٔ لاگرانژی را بر آن‌ها تطبیق داد. علی‌رغم این مطلب، در معادلات اساسی این نظریات برای توصیف سطح بنیادی واقعیت، یعنی فضازمان کوانتومی، پارامتر زمان محذوف است.[۲۷] تغییر نگرش از طرح‌وارهٔ نیوتنی به طرح‌وارهٔ لاگرانژی نیز در این خصوص کمکی نخواهد کرد. بنابراین، به نظر می‌رسد که در طرح‌وارهٔ لاگرانژی نیز زمان می‌تواند غیربنیادی و غیرواقعی

دانسته شود و با توجه به بهترین نظریاتی که اکنون در اختیار داریم، زمان غیربنیادی است. نتیجه این است که نه تنها به‌کارگیری طرح‌وارهٔ لاگرانژی به انکار غیربنیادی و غیرواقعی‌بودن زمان منجر نمی‌شود، بلکه با در نظرگرفتن بهترین نظریات موجود گرانش کوانتومی، زمان حتی ذیل طرح‌وارهٔ لاگرانژی غیربنیادی و غیرواقعی است. این نتیجه مطلوب اسمولین نخواهد بود.

پ. چندجهانی. چنان‌که در بخش ۴ گفته شد، باور به چندجهانی نتیجهٔ به‌کارگیری نادرست طرح‌وارهٔ نیوتنی است. آیا به‌کارگیری طرح‌وارهٔ لاگرانژی ضمانتی برای عدم نیاز به فرضیهٔ چندجهانی فراهم می‌آورد؟ پاسخ روشن نیست.[۲۸] ممکن است در این مورد نیز وضعیت مشابه با وضعیتی باشد که در بند قبل درخصوص مسئلهٔ زمان به آن اشاره کردیم. بررسی این مطلب نیازمند پژوهشی مستقل است؛ در اینجا تنها کافیست توجه کنیم که پاسخ سرراستی برای پرسش مذکور وجود ندارد و همین مطلب می‌تواند از منظر اسمولین به‌منزلهٔ فقدان نقطهٔ قوتی برای طرح‌وارهٔ لاگرانژی باشد.

ت. دوراهی کیهان‌شناختی. چنان‌که در بخش ۴ گفته شد، حد بالای دقت برای بدست آوردن قانون عمومی زمانی حاصل می‌شود که تمام درجات آزادی موجود در جهان را لحاظ کنیم، و یا معادلاً مرزهای زیرسامانهٔ مورد بررسی را آن‌قدر گسترش دهیم که کل جهان را در بر گیرد. اسمولین به درستی متذکر شد که در این وضعیت تنها یک سامانه و تنها یک امکان اندازه‌گیری برای ما باقی می‌ماند. بنابراین، تفکیک میان قانون و شرایط اولیه و به دنبال آن بافتار عملیاتی‌ای که در آن مفهوم قانون عمومی تعریف می‌شود از دست می‌رود. این مطلب به دلیل آن بود که در طرح‌وارهٔ نیوتنی جهان در حکم رایانه‌ای است که شرایط اولیه را به‌عنوان ورودی دریافت می‌کند و قانون حاکم بر آن وضعیت بعدی سامانه را به‌عنوان خروجی تعیین می‌کند. چنان‌که در بخش ۷ گفته شد، طرح‌وارهٔ لاگرانژی با کنارگذاشتن این مفهوم رایانهٔ کیهانی متولد می‌شود. ورودی در طرح‌وارهٔ لاگرانژی، اگر اساساً چنین مفهومی در این طرح‌واره معنی‌دار باشد، شرایط اولیه نیست، بلکه می‌تواند ترکیبی از وضعیت اولیه و وضعیت‌های آتی سامانه باشد. همین مطلب درخصوص خروجی آن نیز صادق است. در طرح‌وارهٔ لاگرانژی از همان ابتدا تفکیک میان شرایط اولیه و قانون عمومی وجود ندارد و مفهوم قانون عمومی در این طرح‌واره از منظری کل‌گرایانه و به‌طور سراسری تعریف می‌شود. بنابراین، به‌کارگیری طرح‌وارهٔ لاگرانژی به دوراهی کیهان‌شناختی منجر نمی‌شود.

ث. پرسش‌های بی‌پاسخ کیهان‌شناختی. با توجه به آن‌چه که در بند قبل گفته شد مشخص است که پرسش‌های کیهان‌شناختی ذکرشده در بخش ۵ با پیگیری طرح‌وارهٔ لاگرانژی بروز

نخواهند کرد. این مطلب ثمرهٔ انکار فلسفهٔ محاسباتی حاکم و رد تصویر مبتنی بر رایانهٔ کیهانی از جهان است. اما روشن نیست که در طرح‌وارهٔ لاگرانژی پرسش‌های بی‌پاسخ دیگری بروز نخواهند کرد. کاملاً محتمل است که در چارچوب طرح‌وارهٔ لاگرانژی نیز پرسش‌هایی معنی‌دار باشند که پاسخ‌دادن به آن‌ها امکان‌پذیر نباشد، پرسش‌هایی همچون: چرا این قانون عمومی خاص و نه قانونی دیگر به‌طور سراسری بر جهان حکم‌فرما است؟ چرا این لاگرانژی خاص و نه لاگرانژی دیگری؟[۲۹] در حقیقت، روشن نیست که هیچ نوعی از دانش علمی به پرسش‌های بی‌پاسخی منتهی نشود. حتی ممکن است کسی ادعا کند که چنین پرسش‌هایی در اساس متافیزیکی و فلسفی هستند یا پاسخ‌دادن به آن‌ها مستلزم درپیش‌گرفتن مسیری غیرطبیعی‌گرایانه است.[۳۰] به‌نظر می‌رسد که بعید نیست از این جهت طرح‌وارهٔ لاگرانژی وضعیتی مشابه با طرح‌وارهٔ نیوتنی داشته باشد. اما جای تردید است که این مطلب نقطهٔ ضعفی برای هیچ‌کدام باشد، یا دست‌کم این مطلب قابل بحث است.

به عنوان جمع‌بندی، به‌کارگیری طرح‌وارهٔ لاگرانژی، برخلاف طرح‌وارهٔ نیوتنی، به مغالطه یا دوراهی کیهان‌شناختی منجر نمی‌شود؛ اما جای تردید است که در سه مورد دیگر طرح‌وارهٔ لاگرانژی نسبت به طرح‌وارهٔ نیوتنی، از منظر اسمولین، دست بالا را داشته باشد.

۹. نتیجه‌گیری

فیزیک و کیهان‌شناسی کنونی به‌طور گسترده‌ای از طرح‌وارهٔ نیوتنی بهره می‌برد که برمبنای آن قانون عمومی به‌نحو قاطعی از شرایط اولیه متمایز است. این طرح‌واره تحول سامانه‌های فیزیکی و جهان به‌مثابهٔ یک کل را در زمان توصیف و تبیین می‌کند. در طرح‌وارهٔ نیوتنی جهان همچون رایانه‌ای است که وضعیت آن در هر لحظه با دریافت شرایط اولیه به‌عنوان ورودی و استفاده از قوانین تحول به‌عنوان الگوریتم پیشینی تعیین می‌شود. اسمولین و وارتون معتقد اند که این تصویر انسان‌محورانه از جهان به‌منزلهٔ رایانهٔ کیهانی سبب به‌وجود آمدن بحرانی در تبیین علمی شده است. پیشنهادی آن است که طرح‌وارهٔ لاگرانژی را جایگزین طرح‌وارهٔ نیوتنی کنیم. طرح‌وارهٔ لاگرانژی رویکردی کل‌گرایانه و سراسری است که در آن سامانه‌ها و جهان به‌مثابهٔ یک کل به‌طور یکجا مورد بررسی قرار می‌گیرند، نه به‌صورت تحول زمانی بُرشی بی‌زمان از آن‌ها. بنابه طرح‌وارهٔ لاگرانژی برداشت الگوریتم‌گونهٔ متداول از جهان صحیح نیست و چنین نیست که برای دانستن وضعیت جهان در زمانی مشخص، دانستن شرایط اولیه و قانون تحول در زمان کافی باشد. گرچه این طرح‌واره از برخی اشکالات طرح‌وارهٔ نیوتنی مبرا است، اما

همچنان با برخی چالش‌های مشابه روبه‌رو است. به‌عنوان مثال، ذیل این طرح‌واره زمـان هنـوز می‌تواند غیرواقعی و چندجهانی موجود باشد. اسمولین انکـار غیرواقعـی‌بـودن زمـان و انکـار موجودبودن چندجهانی را دو رکن اساسی طبیعی‌گرایی زمان‌مند می‌داند، آموزه‌ای که به باور او راه نجات از بحران کنونی فیزیک و کیهان‌شناسی است. بنابراین، طرح‌وارهٔ لاگرانژی که از سوی وارتون به‌عنوان جایگزین طرح‌وارهٔ نیوتنی پیشنهاد شده است نمی‌تواند چندان مطلوب اسمولین باشد.

پی‌نوشت‌ها

۱. او از معدود فیزیکدانان، یا احتمالاً تنها فیزیکدانی، است که به‌طور مشترک کتابی را با یک فیلسوف تالیف کرده است (نک. Unger and Smolin 2015). همچنین، او مؤلف چندین کتاب علم برای عموم است که در عین حال برای دانشجویان و محققان فیزیک و فلسفه نیز آموزنده است (نک. Smolin 1997; 2001; 2007; 2013).

۲. همچنین نک. Burton 2021 که مصاحبه‌ای است با اسمولین و نیز Smolin 2013 کـه مخاطـب عمـومی را هدف قرار داده است.

۳. این زیرسامانه را با صرف‌نظر کردن از تاثیر ابزارهایی که برای اندازه‌گیری به‌کار می‌بریم و مداخلاتی کـه در آن انجام می‌دهیم، می‌توان سامانه‌ای منزوی قلمداد کرد.

۴. اسمولین متذکر می‌شود که طرح‌وارهٔ نیوتنی چارچوب متداول در علـوم کـامپیوتر و مـدل‌هـای ریاضـی مرسوم در علوم زیستی و اجتماعی را نیز فراهم می‌آورد (نک. Unger and Smolin 2015, 373).

۵. اسمولین این آموزه را که هویت ریاضیاتی بی‌زمانی وجود دارد که با جهان واقعی یکریخت (isomorphic) است را «جزم فیثاغورسی» (Pythagorean dogma) می‌نامد. او می‌نویسد: «هیچ شیء ریاضیاتی‌ای نمی‌تواند آینهٔ تمام‌نمای جهان و تاریخچهٔ آن باشد، به این نحو که هـر ویژگـی جهـان بـر ویژگـی‌ای از آن شـیء ریاضی نگاشته شود» (Unger and Smolin 2015, 358).

۶. داور محترمی متذکر شده اند که این مثال ممکن است برای خوانندگان ناآشنا با فیزیـک پایـهٔ دانشـگاهی آسان‌یاب نباشد و مثال‌های آسان‌یاب‌تری از فیزیک دبیرستانی قابل ارائه اسـت، همچـون شـباهت میـان کیک کشمشی (یا هندوانه) با چیزی که تامسون از ساختار اتم در ذهن داشت و یا شباهت میان منظومـه شمسی با چیزی که رادرفورد از ساختار اتم در ذهن داشت. البته درخصوص این دو مثال باید توجه کرد که شباهت‌ها نامعتبر از کار در آمدند.

۷. اولسون نمونه‌های بسیاری از تشبیه‌های متداول در فیزیک را مورد بحث قـرار داده اسـت (نـک. Olson 1943).

۸. فارائونی نمونه‌های بسیاری از تشبیه‌های به‌کار رفته در کیهان‌شناسی را معرفی کرده است و در هر مورد توضیح می‌دهد که از سامانه‌های کوچک اطراف خود چه چیزی در مورد کیهان می‌آموزیم. درخصوص اهمیت تشبیه، او متذکر می‌شود که «زمانی که شهود از کار می‌افتد، تشبیه به کمک می‌آید» (Faraoni 2023, viii).

۹. اسمولین در نوشته‌های دیگرش نیز به طرح انتقادات گوناگونی علیه فرضیهٔ چندجهانی پرداخته است. نک. Smolin 2007; 2013.

۱۰. اسمولین متذکر می‌شود که به‌کارگیری طرح‌وارهٔ نیوتنی در جایی که کاربرد آن معتبر است «سبب موفقیت چشم‌گیر فیزیک از زمان گالیله، کپلر و نیوتن شده است» (Smolin 2015, 91). مقصود او از جایی که کاربرد طرح‌وارهٔ نیوتنی معتبر است، جایی است که کاربرد آن با پراکتیس تجربی هم‌خوان باشد. یعنی جایی که بتوان مراحل سه‌گانهٔ دستورالعملی که طرح‌وارهٔ نیوتنی به ما دیکته می‌کند را در عمل و در آزمایشگاه اجرا کرد.

۱۱. به عنوان نمونه، نک. Susskind 2007 و Tegmark 2008.

۱۲. به‌عنوان مثال، نک. Tegmark 2003.

۱۳. به‌عنوان مثال، نک. Ellis 2011.

۱۴. برای بحث بیشتر، مثلاً، نک. معصومی ۱۳۹۲ و معصومی و دیگران ۱۳۹۲.

۱۵. اسمولین دو پرسش نخست را در کنار هم «معضل چشم‌انداز» (the landscape problem) نامیده است (نک. Smolin 1997).

۱۶. اسمولین متذکر می‌شود که بخش‌هایی از جهان، همچون تابش زمینهٔ کیهانی، در تعادل ترمودینامیکی هستند؛ اما بخش بزرگ‌تر آن از تعادل ترمودینامیکی بسیار فاصله دارد (نک. Burton 2021).

۱۷. او در جای دیگری (Smolin 2012) متذکر شده است که این بحران به بحران سومی انجامیده است که برنامهٔ هوش مصنوعی قوی و نظریات این‌همانی در فلسفهٔ ذهن را به چالش می‌کشد.

۱۸. باید توجه شود که پذیرش توانایی کسب دانش نسبت به جهان مستلزم این باور نیست که ما انسان‌ها در مرکز جهان قرار گرفته ایم. مقصود این نیست که نفی شکاکیت و پذیرش امکان دانش مستحق برچسب انسان‌محوری است. ادعا صرفاً این است که طرح‌وارهٔ نیوتنی به‌نحوی شکل‌گرفته است که گویا (که انگار، و نه لزوماً در حقیقت) ما انسان‌ها در مرکز جهان قرار گرفته ایم.

۱۹. مقصود این است که تجربیات دست‌اول به‌تنهایی برای کشف واقعیت بنیادی قابل اعتماد نیستند و باید تجربیات دیگری را در نظر گرفت تا به سطح بنیادی واقعیت دست یافت، نه اینکه اساساً نمی‌توان گفت جهان همان‌گونه است که تجارب ما می‌گویند؛ مقصود انکار امکان دانش به جهان نیست.

۲۰. همچنین بنگرید به Wharton 2013b; 2015b; 2016.

۲۱. قوانین بازتاب نور پیش از فرما توسط هرون اسکندرانی با توسل به اصل کمترین فاصله تبیین شده بود؛ اما این اصل از تبیین قوانین شکست نور عاجز است. برای دیدن شرحی گیرا از این اصول و کاربرد آن‌ها در نورشناسی هندسی نک. Schiffer and Bowden 1984, chap. 3.

۲۲. برای آشنایی بیشتر نک. Baez and Wise 2019 (مقدماتی)، Thornton and Marion 2004 (متوسط) و Lancsoz 1952 (پیشرفته).

۲۳. همچنین بنگرید به Baez and Wise 2019.

۲۴. منظر «کل‌گرایانه» می‌تواند معانی گسترده‌ای، حتی در فیزیک، چه رسد به فلسفه، داشته باشد. برای آشنایی نک. Healey and Gomes 2022. همچنین، می‌توان میان منظر «سراسری» (در مقابل موضعی) و منظر «کل‌گرایانه» (در برابر تقلیل‌گرایانه) تفکیک قائل شد. با این وجود، در اینجا «سراسری» را معادل با کل‌گرایانه به‌کاربرده ایم و هر دو را نیز در معنایی به‌کاربرده ایم که شرح آن در این بخش آمد، یعنی لحاظ‌کردن همهٔ درجات آزادی به‌واسطهٔ به‌کارگیری لاگرانژی و بدست‌آوردن قانون حاکم بر سامانه به‌واسطهٔ کمینه‌سازی کُنش. این همان چیزی است که طرح‌وارهٔ لاگرانژی مستلزم آن است و همان چیزی است که وارتون (و نامبو) مدنظر دارند. گنجاندن بیشتر از آن ذیل دامنهٔ معنایی منظر کل‌گرایانه مستلزم استدلال‌های تکمیلی است که فراتر از اهداف این مقاله است.

۲۵. ادعای مشابهی را چن و گلدشتاین مطرح کرده‌اند. آن‌ها معتقدند که تولید پویا و طرح‌وارهٔ نیوتنی هر دو حتی در حوزهٔ غیرکوانتومی نیز مشکل‌آفرین هستند (نک. Chen and Goldstein 2022). همچنین، لنکسوز نیز استدلال کرده است که صورت‌بندی لاگرانژی نسبت به صورت‌بندی نیوتنی بستر مناسب‌تری برای طرح نظریهٔ نسبیت عام است (Lancsoz 1952, xxiv-xxv). دلایل او را می‌توان دلایلی برای ترجیح طرح‌وارهٔ لاگرانژی نسبت به طرح‌وارهٔ نیوتنی برای صورت‌بندی و تعبیر نظریهٔ نسبیت عام قلمداد کرد.

۲۶. برای آشنایی غیرفنی با نظریات گوناگون گرانش کوانتومی بنگرید به Smolin 2001. برای آشنایی مقدماتی، اما فنی، با کوانتومی‌کردن گرانش و چالش‌های آن، به‌خصوص معضل زمان، بنگرید به Wallace 2000.

۲۷. این همان حقیقتی است که از آن به غیربنیادی‌بودن زمان تعبیر می‌شود. برای توضیح بیشتر بنگرید به Weinstein and Rickles 2024, §5.1 و Wallace 2000.

۲۸. احتمالاً پاسخ منفی است. برای روشن شدن این مطلب نک. معصومی و دیگران ۱۳۹۲.

۲۹. یافتن لاگرانژی مناسب فرایندی مبتنی بر آزمون و خطا است. در ابتدا یک لاگرانژی حدس زده می‌شود؛ البته این حدس بر مبنای اطلاع و تجربه، یا اصطلاحاً «حدس آموخته» (educated guess) یا «آنساتز» (ansatz)، است. در گام بعدی، این حدس مورد آزمون قرار می‌گیرد و نتیجهٔ آن، که معادلهٔ حرکت است، با آنچه که از شواهد تجربی بدست می‌آید مقایسه می‌شود. اگر نتیجه مطلوب باشد، آن لاگرانژی به‌عنوان لاگرانژی مناسب برگزیده می‌شود. معمولاً هیچ توضیح یا تبیین دیگری غیر از این برای انتخاب یک لاگرانژی خاص وجود ندارد.

۳۰. به یاد آورید که اسمولین مدافع نوع خاصی از طبیعی‌گرایی، یعنی طبیعی‌گرایی زمان‌مند، است و بنابراین، چنین اعتراضی را بر نمی تابد.

کتاب‌نامه

معصومی، سعید، گلشنی، مهدی، و شیخ‌جباری، محمدمهدی. (۱۳۹۲). چندجهانی و آزمون‌پذیری. فلسفه علم، ۳(۶)، ۷۳–۹۸.

معصومی، سعید. (۱۳۹۲). چندجهانی در فیزیک و تبعات فلسفی آن. ذهن، ۱۴(۵۴)، ۱۵۷–۲۱۰.

Adlam, Emily (2022). Determinism beyond time evolution. European Journal for Philosophy of Science 12.4, p. 73.

Baez, J. C., and Wise, D. K. (2019). Lectures on classical mechanics. Manuscript. Available online at https://math.ucr.edu/home/baez/classical/texfiles/2005/book/classical.pdf

Burton, H. (2021). Examining Time: A conversation with Lee Smolin, Ideas Roadshow conversations. Open Agenda Publishing.

Chen, E. K. and Goldstein, S. (2022). Governing Without a Fundamental Direction of Time: Minimal Primitivism about Laws of Nature. In Yemima Ben-Menahem (ed.), Rethinking the Concept of Law of Nature: Natural Order in the Light of Contemporary Science. Springer (pp. 21–64).

Ellis, G. F. R. (2011). Does the Multiverse Really Exist?. Scientific American, 305(2), pp. 38-43.

Faraoni, V. (2023). Cosmic Analogies: How Natural Systems Emulate the Universe. World Scientific Publishing Europe Ltd.

Healey, R. and Gomes, H. (2022). Holism and Nonseparability in Physics. In Edward N. Zalta (ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy. https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/physics-holism/

Lanczos, C. (1952). The Variational Principles of Mechanics. University of Toronto Press.

Nambu, Y. (1952). On Lagrangian and Hamiltonian formalism. Progress of Theoretical Physics 7.2, pp. 131–170.

Olson, H. F. (1943). Dynamical Analogies. New York: D. Van Nostrand Company, Inc.

Rees, M. (2003). Other Universes: A Scientific Perspective. In N. A. Manson (ed.), God and Design: The Teleological Argument and Modern Science, Routledge (pp. 210-220).

Schiffer, M. M., and Bowden, L. (1984). The Role of Mathematics in Science, the Mathematical Association of America, (Inc.).

Smolin, Lee (1997). The Life of the Cosmos. Oxford University Press.

Smolin, L. (2001). Three roads to quantum gravity. Basic Books.

Smolin, L. (2007). The Trouble with Physics: The rise of string theory, the fall of a science, and what comes next. Houghton Mifflin Harcourt (HMH).

Smolin, L. (2009). The unique universe. Physics World 22.06, pp. 21–26.

Smolin, Lee (2012). The culture of science divided against itself. Brick Magazine, issue no. 88.

Smolin, L. (2013). Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe, Houghton Mifflin Harcourt (HMH).

Smolin, L. (2015). Temporal naturalism. Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics 52, pp. 86–102.

Susskind, L. (2007). The Anthropic landscape of String Theory. In B. Carr (ed.), Universe or Multiverse. Cambridge University Press (pp. 247-266).

Tegmark, M. (2003). Parallel Universes. Scientific American, 288(5), pp. 40-51.

Tegmark, M. (2008). The Mathematical Universe, Foundations of Physics 38(2), pp. 101-150.

Thornton, S. T. and Marion, J. B. (2004). Classical Dynamics of Particles and Systems. Brooks/Cole - Thomson Learning.

Unger, R. M. and Smolin, L. (2015). The Singular Universe and the Reality of Time. Cambridge University Press.

Wallace, D. (2000). The quantization of gravity - an introduction. arXiv preprint, arXiv:gr-qc/0004005.

Weinstein, S. and Rickles, D. (2024). Quantum Gravity, The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.), https://plato.stanford.edu/archives/spr2024/entries/quantum-gravity/

Wharton, K. B. (2013a). Against the cosmic computer. New Scientist, 9 February, pp. 30-31.

Wharton, K. B. (2013b). Lagrangian-only quantum theory. arXiv preprint, arXiv:1301.7012.

Wharton, K. B. (2015a). The Universe is not a Computer. In Anthony Aguirre, Brendan Foster, and Zeeya Merali (eds.), Questioning the Foundations of Physics: Which of Our Fundamental Assumptions Are Wrong?. Springer (pp. 177–189).

Wharton, K. B. (2015b). Reality, no matter how you slice it. In Anthony Aguirre, Brendan Foster, and Zeeya Merali (eds.), It From Bit or Bit From It? On Physics and Information. Springer (pp. 181-196).

Wharton, K. B. (2016). Towards a Realistic Parsing of the Feynman Path Integral. Quanta, 5(1), 1-11. https://doi.org/10.12743/quanta.v5i1.41