Philosophy of Science, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Biannual Journal, Vol. 12, No. 2, Autumn and Winter 2022-2023, 189-212
Doi: 10.30465/ps.2023.44801.1664

An Appraisal of Two Philosophical Research Programs on the Problem of Time's Arrow

Narges Fathalian*, AliReza Mansouri**

Abstract

The problem of time's arrow has sparked two distinct metaphysical approaches, each stemming from opposing Humean and non-Humean perspectives on laws of nature. This paper contends that these approaches, despite their differences and inherent challenges, ultimately converge on a common goal: to explain time's arrow, we must comprehend the structure of spacetime during the universe's early stages.

Keywords: time's arrow, thermodynamic arrow, past hypothesis, spacetime, (non)Humean approach

* Ph.D. Candidate of Philosophy of Science and Technology, Institute for Humanities and Cultural Studies, narges.fathalian@gmail.com

** Associate Professor of Philosophy of Science and Technology, Institute of Humanities and Cultural Studies, Tehran, Iran (Corresponding Author), mansouri@ihcs.ac.ir

Date received: 2022/09/03, Date of acceptance: 2023/12/06

Copyright © 2010, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

فلسفهٔ علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
دوفصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ علمی ـ پژوهشی)، سال ۱۲، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ۱۹۱ – ۲۱۲

یک ارزیابی از دو برنامهٔ پژوهشی فلسفی به مسئلهٔ پیکان زمان

نرگس فتحعلیان*

علیرضا منصوری**

چکیده

در این مقاله دو رویکرد تقلیل‌گرایانه و غیرتقلیل‌گرایانه نسبت به مسئلهٔ پیکان زمان که ارتباط وثیقی با دو تلقیِ متفاوت هیومی و غیرهیومی از قوانین طبیعت دارد، مورد بررسی قرار گرفته است. هدف مقالهٔ حاضر این است که استدلال کند این دو رویکرد به مثابهٔ دو برنامهٔ پژوهشی، به رغم اختلاف بنیادیِ و مسائلی که هر یک درگیر آن هستند، در نهایت ما را به سمت این مسئله اساسی هدایت می‌کنند که تبیین مسئلهٔ پیکان زمان نیازمند شناخت ساختار فضازمان در کیهان اولیه است.

کلیدواژه‌ها: پیکان زمان، پیکان ترمودینامیکی، فرضیهٔ گذشته، فضازمان، رویکرد (غیر)هیومی

۱. مقدمه

مسائل علمی در چارچوب متافیزیک زمانه صورت‌بندی می‌شوند و آن دسته از مسائلی که چارچوب‌های متافیزیکی زمانه را به چالش می‌کشند، اهمیت اساسی دارند. این چارچوب‌های متافیزیکی می‌تواند ساختار ماده یا فضازمان باشد. مسئلهٔ پیکان زمان یکی از مسائلی است که از این جهت اهمیت اساسی دارد. مسئلهٔ پیکان زمان پرسش از منشأ و ماهیت جهت‌داری زمان

* دانشجوی دکتری فلسفهٔ علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، تهران، ایران، narges.fathalian@gmail.com
** دانشیار فلسفهٔ علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)، mansouri@ihcs.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

Copyright © 2018, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose.

(همواره از گذشته به آینده بودن) و تمایز و عدم تقارن بین گذشته و آینده است. این تمـایز در فرایندهایی که در تجربهٔ روزمرهٔ خود آنها را تجربه می‌کنیم ظاهر می‌شود.[۱] تلاش‌هـای زیـادی برای توضیح این عدم تقارن بر اساس قوانین فیزیک صورت گرفته‌است؛ ولی مشکل اینجاست که اغلب قوانین فیزیک نسبت به وارونی زمان ناوردا هستند. به عبارت دیگر، آن‌ها نسـبت بـه زمان تقارن دارند. با این حال، برخی عدم تقارن‌های فیزیکی وجود دارد که تلاش شـده اسـت عدم تقارن زمانی بر حسب آن‌ها تبیین شود: مانند عدم تقارن الکترومغناطیسی و به ویـژه عـدم تقارن ترمودینامیکی که به عنوان تنها عدم تقارن بزرگ‌مقیاس در فیزیکْ کاندیدای اصلی بـرای تبیین پیکان زمان است. اما تلاش‌های اخیر نیز مورد نقدهای جدی واقع شـده‌انـد. ایـن نقـدها متضمن این است که باید بین تقارن زمانی و تقارن در زمان تفاوت گذاشت. بر مبنـای چنـین تفکیکی فرآیندهای نامتقارنِ زمانی، فرآیندهایی هستند که در زمان نامتقارن‌اند و این عدم تقارن ربطی به عدم تقارنِ خود زمان ندارد. عدم تقارن‌هـایی ماننـد عـدم تقـارن آنتروپـی و تابشـی، عدم‌تقارن در زمان محسوب می‌شوند، نه عدم تقارنِ خودِ زمان. این‌که علیت رو به جلو است و ما تنها می‌توانیم مسیرهای گذشته را ردیابی کنیم و نمی‌توانیم بر آینده تـأثیر بگـذاریم، ویژگـی اساسیِ خودِ زمان است و نه فرآیندی که در زمان اتفاق می‌افتد .(Sklar, 2005; 1993: 375-385)

با این وجود بَری لوئر (Barry Loewer) معتقد است، اختلاف بر سر این‌که آیا عـدم تقـارن ترمودینامیکی می‌تواند عدم تقارن زمانی را توضیح دهد یا خیر به تلقی ما از قوانین برمی‌گـردد که هیومی باشد یا غیرهیومی (Loewer, 2012). این دو تلقی منجر بـه دو رویکـرد متفـاوت بـه مسئلهٔ پیکان زمان می‌شود در تلقی هیومی قوانین بیان‌کننـدهٔ توزیـع یـا الگـوی موزائیـک‌هـای هیومی[۲] است که این موزائیک‌ها در نهایت به فکت‌ها (امـور واقـع) در فضـازمان تقلیـل پیـدا می‌کنند. به این ترتیب، این رویکرد پیکان زمان را به پیکان ترمودینامیکی تقلیل می‌دهد، چـون، به زعم خود، می‌تواند پیکان ترمودینامیکی را برحسب امور واقع تبیین کند. در مقابل، در تلقـی غیرهیومی، قوانین چیزی فراتر از الگوهای موزائیکی از امور واقع هستند. آنها یا بیان‌کنندهٔ نوعی ضرورت‌اند – ضرورتی متافیزیکی یا نومولوژیک – یا اساسـاً خـودِ قـوانین نـوعی موجـودات واقعی‌اند به این ترتیب، این رویکرد تبیینِ رویکرد هیومی را برای پیکان زمان رضـایت‌بخـش نمی‌داند و در جستجوی توضیح بنیادین‌تری است.

دیدگاه‌های متافیزیکی هر چند ابطال‌ناپذیرنـد–یعنـی نبایـد تصـور کـرد کـه یـک دیـدگاه متافیزیکی را می‌توان با شواهدی به طور قطعی رد کرد– با این حال نقدپذیرند. آن‌ها را می‌توان بر اساس توانایی‌شان در حل و تبیین مسائلی کـه بـرای حـل آن ارایـه شـده‌انـد ارزیـابی کـرد

(Popper, 1983). برای مثال در هر دو رویکرد تلاش شده است که تبیینی برای عدم تقارن علّی، تبیین عدم تقارن معرفت‌شناختی، تبیین عدم تقارن ردها یا آثار و تبیین عدم تقارن حافظه ارایه شود (نک: Loewer, 2012; Albert, 2000: 131-132). ارزیابی این تبیین‌ها در حال حاضر خارج از محدودهٔ این مقاله است.

هدف مقاله این است که نشان دهد می‌توان به این دو رویکرد به مثابهٔ دو برنامهٔ پژوهشی نگاه کرد. یعنی، فارغ از اینکه توافقی بر سر تلقی ما از قوانین حاصل شود یا خیر، هر یک از این دو رویکرد منجر به یک برنامهٔ پژوهشی مستقل می‌شود که باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در واقع باید دید این برنامه‌های پژوهشی با چه مسائلی روبرو هستند و آیا کفایت لازم برای حل آن مسائل را دارند یا خیر. خصوصاً باید دید که این برنامه‌های پژوهشی چه تأثیری بر نظریه‌پردازی‌های فیزیکی و در نهایت پیشرفت علم خواهند داشت. آیا منجر به صورت‌بندی مسائل جدید فیزیکی می‌شوند یا امکان تعبیری جدید از برخی نظریه‌ها را فراهم می‌کنند. استدلال می‌کنیم فارغ از اینکه کدام‌یک از این دو برنامهٔ پژوهشی انتخاب شود، بررسی ریشهٔ مسئلهٔ پیکان زمان مستلزم شناخت ساختار فضازمان در سطحی بنیادی در کیهان اولیه است.

یکی از انتقاداتی که مکرراً به برخی ایده‌های مطرح در زمینهٔ پیکان زمان وارد شده، عدم دقت ریاضی آن‌ها است (خصوصاً نک: نقد فریگ از گلدشتاین (Frigg, 2008) و به ایرادات ارمن (Earman, 2006) دایر بر هرگونه انتسابِ آنتروپی به کیهان اولیه). با این حال، همان‌طور که والاس (Wallace, 2011) می‌گوید باید اجازه داد تا مردم حدس‌هایی را که فکر می‌کنند درست است، ارایه کنند تا مورد نقد قرار گیرد. در عوض، آنچه در فعالیت فلسفهٔ فیزیک نقش و اهمیت بیشتری دارد درک این نکته است که این حدس‌ها قرار است چه مسائلی را حل کنند و این راه‌حل‌ها تا چه اندازه معتبرند. در واقع شاید بتوان گفت هدف اصلی در تأملات فلسفی دربارهٔ فیزیک اثبات قضایا نیست، بلکه باید دید کدام قضایا ارزش اثبات دارند و کدام مسائل از اهمیت و اولویت بیشتری برخوردارند. مقالهٔ حاضر چنین رویکردی را در خصوص مسئلهٔ پیکان زمان و برنامه‌های پژوهشی که در این زمینه مطرح شده است، در پیش می‌گیرد.

ساختار مقاله حاضر به شرح زیر است. در بخش دوم توضیح می‌دهیم برنامهٔ پژوهشیِ هیومیِ تقلیل‌گرا با چه مسائلی مواجه است. در بخش سوم، مسائلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که برنامهٔ پژوهشی غیرتقلیل‌گرا با آن مواجه است. در بخش چهارم، به مقایسهٔ نقادانهٔ این دو برنامهٔ پژوهشی می‌پردازیم و استدلال می‌کنیم که این دو برنامهٔ پژوهشی، به رغم اختلاف

رویکرد، سویهٔ مشترکی پیدا می‌کنند. این سویهٔ مشترک تلاش برای شناخت عمیق‌تر ساختار فضازمان در کیهان اولیه در سطحی عمیق‌تر است. بخش پنجم، نتیجه‌گیری است.

۲. برنامهٔ پژوهشیِ تقلیل‌گرا و مسائل آن

رویکرد هیومی/تقلیل‌گرایانه تلاش می‌کند پیکان زمان را بر حسب پیکان‌های فیزیکی مانند پیکان ترمودینامیکی تبیین کند. این رویکرد از منظر تلقی‌اش از قوانین به دنبال توضیحی بیش از الگوی موزائیکی برای جهت‌مندی زمان نیست. تقلیل‌گرا برای تمایز بین گذشته و آینده و تبیین همهٔ پیکان‌های زمان نیازی به فرض پیکان متافیزیکی برای زمان نمی‌بیند و آن‌ها را بر اساس قوانین بنیادی و الگوهای توزیع موجوداتی که فضازمان را اشغال کرده‌اند توضیح می‌دهد. رایج‌ترین مسیر برای ارایهٔ تبیینِ پیکان‌های زمان، استفاده از قانون دوم ترمودینامیک است که متضمن افزایش آنتروپی است (Loewer, 2012: 118).

لوئر این ایده را ذیلِ عنوانِ «منتاکولس»[۳] صورت‌بندی کرده‌است (Loewer, 2012: 124). به طور کلی بر اساس مشاهدات و نظریات کیهان‌شناسی این باور وجود دارد که وضعیت جهان در زمانِ وقوع یا درست پس از وقوع انفجار بزرگ آنتروپی بسیار پایینی دارد. اگر حالت ماکروی بسیار پایین در این زمان را M(0) بنامیم، آلبرت فرض وجود یک توزیع احتمال یکنواخت را روی حالت‌های ممکنِ میکرو که بتواند M(0) را تحقق بخشد به مثابهٔ یک قانون می‌پذیرد. طبق نظر آلبرت، نظریهٔ بنیادیِ منتاکولس شامل سه مؤلفه است:

i) قوانین دینامیکی بنیادی.

ii) این ادعا که حالت ماکرو اولیه M(0) است و آنتروپی M(0) بسیار ناچیز است. او این را 'فرضیه گذشته' (PH) می‌نامد.[۴]

iii) قانونی که یک توزیع احتمالاتی یکنواخت را به حالت‌های میکروِ M(0) نسبت می‌دهد (Albert, 2000: 96).

این سه مؤلفه باهم یک نقشه احتمالاتی برای جهان ارائه می‌دهند زیرا متضمنِ یک توزیع احتمالاتی روی مجموعه‌ای از همه میکرو–تاریخچه‌های ممکن جهان سازگار با M(0) است که مطابق قوانین دینامیکی بنیادی تحول می‌یابد.

طرفداران رویکرد هیومی و تقلیل‌گرا معتقدند که منتاکولس پارادوکس برگشت‌پذیری را حل می‌کند و قانون دوم را توضیح می‌دهد. به علاوه انتظار این است که منتاکولس بتواند، غیر

از پیکان ترمودینامیکی، پیکان‌های دیگر زمان را نیز توضیح دهد؛ یعنی توضیح دهد چرا تأثیرگذاری علّی فقط در یک جهت رخ می‌دهد؛ چرا حافظهٔ ما نسبت به گذشته و آینده عدم تقارن دارد؛ و چرا، برخلاف آینده، بر گذشته نمی‌توانیم تأثیر بگذاریم. در واقع هر نظریه‌ای که برای پیکان زمان ارایه شود باید بتواند توضیحی برای همهٔ صورت‌های پیکان داشته‌باشد. به این منظور در رویکرد تقلیل‌گرایِ هیومی با متناکولس پیکان آنتروپی را توضیح می‌دهند و با استفاده از پیکان آنتروپی سایر پیکان‌های زمان را نیز توضیح می‌دهند (Loewer, 2012: 125; Albert 2000: ch:6). بنابراین به نظر می‌رسد برای رویکرد تقلیل‌گرایِ هیومی، پیکان آنتروپی بنیادی‌تر از بقیهٔ پیکان‌های زمان است که آن‌هم با متناکولس آلبرت–لوئیس توضیح داده می‌شود. تحلیل متناکولس نیز ما را به این نتیجه می‌رساند که آن‌چه در این طرح احتمالاتی منشأ عدم تقارن است، فرضیهٔ گذشته است. بنابراین، به نظر می‌رسد که «فرضیهٔ گذشته» در رویکرد هیومی به پیکان زمان نقش محوری ایفا می‌کند. در این مقاله به نقدهای صورت‌گرفته علیه کلیت فرضیهٔ گذشته نمی‌پردازیم،[۵] در عوض، می‌خواهیم ببینم که به فرض پذیرش فرضیهٔ گذشته، تبیین ارایه شده برای پیکان زمان منجر به چه مسائل یا برنامهٔ پژوهشی‌ای می‌شود.

اولین پرسشی که به ذهن می‌رسد این است که شأن هستی‌شناختیِ فرضیهٔ گذشته چیست؟ برخی (مثل آلبرت، فاینمن، پنروز) فرضیه گذشته را یک «قانون بنیادین» می‌دانند (North, 2011). چن استدلال می‌کند که قانونْ بودن فرضیهٔ گذشته هم با نگرش هیومی و هم با یک نسخهٔ حداقلی از نگرش غیرهیومی سازگار است (Chen, 2020). فرضیه گذشته بسیاری از معیارهای پذیرفته‌شده قانون‌بودن را برآورده می‌کند (مانند حمایت از خلاف واقع، تبیین و پیش‌بینیِ موفق)، جز اینکه یک تعمیم غیرِ دینامیکی است. با این حال، فرضیه گذشته مانند بسیاری از قوانین دیگر ساده و یک‌پارچه است و جز یک قید آماریِ ساده در شرایط اولیه چیزی کمتر از آنچه ما معمولاً قانون قلمداد می‌کنیم ندارد.[۶] اما اگر فرضیه گذشته را قانون بدانیم، در این صورت ما قانونی بنیادی داریم که هر چند قانونی غیر دینامیکی است، یک عدم تقارن دارد و طبق ادعای نگرش هیومی قانون دوم ترمودینامیک را توضیح می‌دهد. در غیر این صورت، باید فرضیهٔ گذشته را صرفاً یک تعمیم احتمالاتی بدانیم که برای آن شواهدی تجربی داریم – البته شواهدی که تنها زمانی قابل اعتماد هستند که خود فرضیهٔ گذشته برقرار باشد (North, 2011)!

شأن فرضیهٔ گذشته هر چه باشد، این مسئله قابل طرح است که چرا حالت اولیه جهان آنتروپی پایینی دارد؟ بر اساس کیهان‌شناسیِ استاندارد و نظریهٔ انفجار بزرگْ جهان از یک حالت کلان یکنواخت آغاز شده‌است. مطابق این دیدگاه رایج بلافاصله پس از انفجار بزرگ، جهان در

یک «سوپ» یکنواختِ داغ بوده است که در آن ماده و انرژی به طور یکنواخت در تعادل گرمایی توزیع شده بودند.[۷] اما در چنین وضعیتی، آنتروپی ترمودینامیکی بالا است و در تعارض با فرضیهٔ گذشته است (Albert, 2000: ch.4; Price, 1996). در این صورت چه تبیینی برای آنتروپی پایین در کیهان اولیه داریم؟ در واقع فرضیهٔ گذشته توصیف وضعیتی بسیار غیرمحتمل است. اما چرا جهان باید در چنین وضعیت غیرمحتملی آغاز شده باشد؟

شاید کسی بگوید نیازی به تبیین بیشتر نیست و می‌توان فرضیهٔ گذشته را به مثابهٔ امری بنیادین پذیرفت که منجر به پیش‌بینی‌های درستی می‌شود – حالا می‌خواهد قانون باشد، یا شرایط اولیه. برای مثال بولتزمن معتقد بود که فرضیهٔ گذشته، فرضیهٔ معقولی است که توضیح تجارب ما را ممکن می‌سازد (Boltzmann, 1896).[۸] آلبرت با استدلالی شبه‌کانتی برای فرضیهٔ گذشته شأنی معرفتی قائل است، به این معنی که چنین فرضی پیش‌شرط معرفت سازگار ما به گذشته است (Albert, 2000) و کلندر نیز آن را قانونی غیردینامیکی می‌داند (Callender, 1994; 2004a,b). روولی می‌گوید «برای هر واقعیت کلی دیگری از طبیعت، نپرسیدنِ بیشتر از چرایی گزینه معقولی است. مگر اینکه (یا تا زمانی که) کسی چیز بهتری پیدا کند.» (Rovelli, 2019: 9). در مقابل، کسانی مانند پرایس و کرول معتقدند معمای اصلی در خصوص عدم تقارن ترمودینامیکی در نهایت نیازمند توضیح این امر است که چرا آنتروپی در ابتدا باید بسیار کم باشد (Price, 2002a,b; 2004 , 1996; Carroll, 2008). حتی خود روولی نیز که نیازی به ارایهٔ تبیینی برای فرضیهٔ اولیه نمی‌بیند، برای توضیح برگشت‌ناپذیری جهان فعلی و بزرگ‌مقیاس صرفاً به فرضیهٔ گذشته اکتفا نمی‌کند؛ بلکه تلاش می‌کند آن را با نظریه‌ای در خصوص کیهان اولیه تکمیل کند که منشأ کم بودن آنتروپی در جهان اولیه را توضیح دهد (Rovelli, 2019). بر اساس یک حدس دیگر، وجود گرانش علت آنتروپیِ پایین است. گرانش به عنوان یک نیروی جاذبه باعث توده‌ای شدن ماده می‌شود. مطابق ترمودینامیک، حالت‌هایی با آنتروپی بیشینه متناظر با حالت‌های تعادلی‌اند و سیستم‌ها تمایل دارند که به سمت چنین حالت‌هایی تحول پیدا کنند و در آن باقی بمانند. بنابراین، در سیستم‌هایی که از اول تحت تأثیر گرانش بوده‌اند، حالت توده‌ای آنتروپیِ بالایی دارد.[۹] اما حالت اولیه جهان که ابتدا به صورت غیرتوده‌ای و یکنواخت بوده‌است[۱۰]، به علت گرانش، آنتروپی بسیار پایینی داشته‌است (North, 2011).[۱۱]

نگرشی که فرضیهٔ گذشته را نیازمند توضیحی بیشتر نمی‌داند ناگزیر آن را به مثابهٔ یک «تبیین نهایی» (ultimate explanation) قلمداد می‌کند. این رویکرد از نظر روش‌شناختی قابل خدشه است. گویی در علم جایی وجود دارد که دیگر پرسش دیگری نمی‌توان پرسید. مثلاً

دکارت معتقد بود که او فیزیک را بر حسب اجسام مادی که مقولهٔ ذاتی و بنیادی آن بُعد بود توضیح داده‌است. درفیزیک نیوتنی تصور می‌شد همه چیز بر حسب ذرات و نیروهای آن‌ها قابل تبیین است. اما تاریخ علم نشان می‌دهد که این نگرش قابل دفاع نیست. زمانی تصور می‌شد اتم‌ها بنیاد نهاییِ جهان هستند، اما بعداً معلوم شد که خودِ آن‌ها ساختار درونی دارند. زمانی نوترون‌ها و پروتون‌ها به عنوان سنگ بنای نهایی معرفی شدند، اما بعداً معلوم شد که آن‌ها نیز ساختار درونی دارند. شاید هم زمانی معلوم شود که الکترون‌ها و کوارک‌ها هم دارای ساختار درونی هستند. رویکردی که به تبیین نهایی قائل است با خطاپذیری معرفت بشری در تعارض است (Popper, 1979: 194-195). بنابراین از این منظر فرضیه گذشته نیز بی‌نیاز از تبیین نیست. بنابراین در دیدگاه تقلیل‌گرایانه مسئلهٔ پیکان زمان به پیکان ترمودینامیکی یا پیکان آنتروپی تقلیل می‌یابد درحالی‌که خود تبیین پیکان آنتروپی به فرضیه گذشته وابسته است و به نظر می‌رسد که تبیین فرضیه گذشته نیز به فهم ما از فضازمان گره خورده‌است که دربارهٔ آن در بخش ۴ بیشتر بحث خواهیم کرد.

۳. برنامهٔ پژوهشی غیر تقلیل‌گرا و مسائل آن

در رویکرد غیرتقلیل‌گرایانه به پیکان زمان، پیکان ذاتی زمان به صورت یک تمایزِ متافیزیکیِ بنیادی بین گذشته و آینده فرض می‌شود که قابل تقلیل به چیز دیگری نیست و برای تبیینِ بقیهٔ پیکان‌های زمان ضروری است. از این منظر تلاش برای تبیین جهت زمان بر حسب پیکان‌های فیزیکی نتیجه‌بخش نیست، زیرا قوانین فیزیک خود در بستر یک زمانِ جهت‌مند روی می‌دهند و به این اعتبار، تبیین پیکان زمان برحسب پیکان‌های فیزیکی به نحوی مصادره به مطلوب است. به علاوه، جهت زمانِ متافیزیکی با قوانین آماری و احتمالاتی قابل توضیح نیست (Esfeld, 2006).

برای نمونه مادلین برای ساختار زمانیِ جهان یک عدم تقارن بنیادین و غیر قابل تقلیل قائل است (Maudlin, 2007a: 109). به نظر او چنین عدم تقارنِ ذاتی‌ای زیربنای رابطه‌ای تبیینی است که او آن را «تولید» (production) می‌نامد، زیرا این تبیین «مستلزم این است که واقعیتی وجود داشته باشد که بگوید چه حالاتی چه حالات دیگری را تولید می‌کنند»(Maudlin 2007a: 134). ایدهٔ «تولید» قرار است نوعی تبیین برای تحول رویدادها فراهم کند؛ یعنی توضیح دهد که چرا استدلال‌های مبتنی بر تیپیکالیتی (typicality arguments) در جهت جلو کار می‌کنند، اما در جهت عقب کار نمی‌کنند. مادلین استدلال می‌کند که استدلال‌های تیپیکالیتی به این دلیل در

جهت عقب کار نمی‌کنند که حالت‌های میکرو در جهان ما، به غیر از حالت اولیه (که گذشته‌ای ندارد)، به دلیل نحوه تولیدشان گذشتهٔ غیرتیپیکال دارند.

با این حال، مادلین دربارهٔ اینکه چگونه جهت ذاتی زمان منجر به «تولید» می‌شود یا چگونه «تولید» به تبیین عدم تقارن ترمودینامیکی کمک می‌کند، توضیحی نمی‌دهد. به بیان لو دو نگرانیِ اصلی در مورد تبیین مادلین وجود دارد (Loew, 2018). اول اینکه مادلین توضیح چندانی دربارهٔ جهت زمان ارایه نمی‌کند؛ فقط می‌گوید که این جهت یک امر اولیه هستی‌شناختی است که شرط وجود رابطهٔ تولیدی است و از نظر ریاضی با جهت‌گیری (orientation) منیفولد فضا–زمان بازنمایی می‌شود (Maudlin, 2007a: 134). به عبارت دیگر، مادلین جهت‌مندی زمان را به مثابهٔ یک امر بنیادین می‌پذیرد و معتقد است باید برای نمایش جهت‌مندی از ابزار ریاضی مناسبی (توپولوژی مناسب) استفاده کرد که بتواند این جهت‌گیری را نمایش دهد.[۱۲] این جهت‌گیری در هر نقطه فضا–زمانی مشخص می‌کند که کدام جهت زمانی آینده و کدام گذشته است. اما در نظر گرفتن جهت زمان به عنوان یک جهت‌گیریِ توپولوژیک، تفاوت مسیر آینده با جهت گذشته را توضیح نمی‌دهد و آن را به مثابهٔ یک امر بنیادی فرض می‌گیرد. به نظر می‌رسد مادلین فکر می‌کند که شهود ما دربارهٔ جهت زمان برای فهم اینکه چگونه حالات قبلی، تولید حالات بعدی را تضمین می‌کنند، کفایت می‌کند.

نگرانی دوم، به نظر لو، این است که مشخص نیست جهتِ ذاتی زمان که از نظر مادلین تولید را تضمین می‌کند، چه نقشی در توضیح عدم تقارن ترمودینامیکی دارد. به نظر می‌رسد هیچ چیز در مورد «تولید» وجود ندارد که مانع امکان تولید ماکروحالت‌های آنتروپی پایین از حالت‌های قبلی با آنتروپی بالاتر شود (نک: Loewer 2012: 133; Maudlin, 2007a: 177). بنابراین عدم تقارن زمانی «تولید» به خودیِ خود نمی‌تواند عدم تقارن ترمودینامیکی را توضیح دهد. برای توضیح اینکه چرا افزایش آنتروپی نسبت به آینده تیپیکال است، اما نسبت به گذشته نیست، تبیین مادلین باید با قیدی روی شرایط مرزی تکمیل شود. اما با وارد کردن شرایط مرزی به این صورت، دیگر نقش تولید در توضیح عدم تقارن ترمودینامیکی اضافی به نظر می‌رسد. زیرا تبیین هیومی، بدون فرض جهت ذاتی زمان، افزایش آنتروپی به سمت آینده (و نه گذشته) را توضیح می‌دهد. پس این سؤال باقی می‌ماند که تبیین تولیدیِ مادلین چه چیزی قرار است به تبیین پیکان ترمودینامیکی اضافه کند؟

برای رفع این نگرانی‌ها لو تلاش می‌کند بخش متافیزیکیِ توضیح مادلین برای پیکان آنتروپی را تکمیل کند (Loew, 2018). به نظر لو فرضیهٔ گذشته به همراه تعبیر تولیدی مادلین

مستلزم این است که حالت اولیه از نظر متافیزیکی بنیادی و منحصر به فرد باشد. زیرا همه حالات دیگر در زمان غیربنیانی‌اند و از اِعمال قوانین بنیادی روی حالت اولیه ایجاد می‌شوند. به این ترتیب، تمام واقعیت را می‌توان به طور کامل تنها از روی حالت اولیه و قوانین بنیادی توضیح داد. حالت اولیه حالت خاصی است که فرضیه گذشته به جای هر حالت دیگری در موردِ آن حالتِ خاص صدق می کند؛ حالتی که به‌واسطهٔ جهت‌مندی زمان، حالت دیگری قبل از آن نیست. بنابراین، اگر حدس مادلین درست باشد که ساختار زمان یک جهت‌مندی از گذشته به آینده دارد، آن‌گاه این جهت توضیح می‌دهد که چرا فرضیه گذشته در حالت اولیه جهان صدق می‌کند، نه در حالت دیگری. بنابراین به این دلیل می‌گوییم حالت اولیه از نظر متافیزیکی بنیادی است که قوانین بنیادی می‌تواند حالات دیگر را با قیدی روی این حالت اولیه (فرضیه گذشته) تولید کند (ibid.: 498).

در رویکرد غیرهیومیِ مادلین بین فرضیهٔ گذشته و هندسهٔ فضازمان که در آن توپولوژی زمان جهت‌مند است پیوندی برقرار می‌شود. فرض وجود «شرایط اولیه» (initial condition) برای جهان، در رویکرد غیرهیومیِ مادلین، مستلزم در نظر گرفتن یک جهت‌مندی بنیادین برای زمان است. بنابراین فرضیهٔ گذشته به همراه نگرش غیرهیومیْ خاص بودنِ متافیزیکی جهان اولیه را نتیجه می‌دهد. در نظر گرفتن جهت‌مندی ذاتی و بنیادی برای زمان، به تنهایی، نقطه‌ای را در فضازمان به عنوان نقطهٔ «اولیه (initial)» مشخص نمی‌کند. این جهت‌مندی بنیادین در وجود شرایط اولیهٔ خاص، در کنار افزایش آنتروپی است که مستلزم وجود یک نقطهٔ متافیزیکیِ خاص در هندسهٔ فضازمان است. خاص‌بودن متافیزیکیِ این جهان اولیه می‌تواند زمینه‌ای برای صورت‌بندی مسائلی جدید برای فیزیک باشد. مسائلی که مفاهیم «مبدأ زمان» و «جهت زمان» معنایِ خود را از چارچوب متافیزیکی غیرهیومی اخذ می‌کنند.

علاوه بر پیشنهادِ لو، دیگران نیز دیدگاه‌های متافیزیکی مختلفی را با فرض بنیادی بودن زمان و ذاتی بودنِ جهت‌مندی آن ارایه کرده‌اند (نک: Gołosz, 2020). از منظر این دیدگاه‌ها، فیزیک تاکنون نتوانسته است تبیینی برای پیکان زمان در اختیار ما قرار دهد و ما باید در متافیزیک به دنبال چنین نظریه‌ای باشیم. اغلب این مدل‌ها بیان‌گر یک جهان چهاربعدی در حال صیرورت است (Gołosz, 2020; 2021). برای ارزیابی این دیدگاه‌ها می‌توان استلزامات فلسفی دو رویکرد را از جهت سازگاری با دیگر اندیشه‌ها و پیش‌فرض‌های پذیرفته‌شدهٔ متافیزیکی مورد ارزیابی قرار داد. برای نمونه اغلب طرفداران جهان بلوکی برای زمان گذری واقعی قائل نیستند. بنابراین اگر کسی گذر ذاتی زمان را بپذیرد و از طرفی بنا بر استدلال‌های مستقلی جهان بلوکی را

پذیرفته باشد، باید توضیح دهد تلقی گذر زمان با چه نسخه‌ای از جهان بلوکی سازگار است؟ برای مثال مادلین که معتقد به گذر زمان است و آن را امری بنیادی می‌داند، به جهان بلوکی رشدیابنده (Evolving Block Universe) اعتقاد دارد که در آن اکنون و گذشته وجود دارد اما آینده نه (Arthur, 2019: 53-62; Ellis, 2014; 2006; Ellis & Drossel, 2020).

نقش مهم چارچوب‌های متافیزیک پایه این است که بستری برای صورت‌بندی مسائل علمی فراهم کنند. این تعابیر متنوع متافیزیکی این مسأله را ایجاد می‌کند که این چارچوب‌های متافیزیکی منجر به صورت‌بندی چه مسائل فیزیکی می‌شوند.[۱۳] به قول آگاسی متافیزیکْ فیزیک آینده است (Agassi, 1975). در این چارچوب‌ها ممکن است مقولات هستی‌شناختیِ جدیدی معرفی شوند و مفاهیم قبلی در چارچوب متافیزیکی جدید معنای جدیدی پیدا کنند. به این ترتیب مسائل فیزیکی جدیدی صورت‌بندی می‌شود که ممکن است منجر به فیزیکی جدید شود که بر تلقی ما از ساختار فضازمان تأثیر بگذارد و آن را تغییر دهد.

۴. مسئلهٔ اساسی: شناخت ساختار فضازمان در کیهان اولیه

با توجه به آنچه گفته شد می‌توان دید که دو رویکرد هیومی و غیرهیومی هر چند مسیرهای تبیینیِ متفاوتی را طی می‌کنند، اما ما را به مسئلهٔ مشترکی هدایت می‌کنند: شناخت ساختار فضازمان در کیهان اولیه. حل این مسئلهٔ مشترک می‌تواند متضمن کشف ویژگی‌های جدیدی برای ساختار فضازمان شود که در نتیجهٔ آن فهم جدیدی از ساختار فضازمان را نتیجه دهد. ساختاری که از طریق فرضیهٔ گذشته بر تحول دینامیکیِ جهان ما تأثیر می‌گذارد. ما در این بخش به ذکر نمونه‌هایی از این نظریه‌پردازی‌ها می‌پردازیم تا نشان دهیم در همهٔ آنها فارغ از رویکرد هیومی یا غیرهیومی تبیین مسئلهٔ پیکان زمان منجر به مسئلهٔ شناخت ساختار فضازمان در کیهان اولیه شده است.

برای مثال به نظر پنروز تبیین آنتروپیِ پایین کیهان اولیه را باید در پرتو نقش گرانش در کیهان اولیه جستجو کرد و با نظریهٔ گرانش کوانتومی توضیح داد. قاعدتاً این نظریه باید یک نظریه نامتقارن نسبت به زمان باشد (Penrose, 1989: 344–345; 350–353). ممکن است این ایراد وارد شود که این نظریهٔ فرضی باید با GTR (نسبیت عام) در سطح 'کلاسیک' مطابقت داشته باشد، در حالی‌که GTR خود متقارن زمانی است. به نظر پنروز راه کنار زدن این مشکل این است که نظریهٔ گرانش کوانتومیِ آینده فرضیهٔ گذشته (PH) را در خود جذب کند و آن را به عنوان چیزی خارجی در نظر نگیرد. به همین دلیل فرضیهٔ گذشته برای پنروز یک شأن قانونی

دارد. به عبارتی، درست است که از نظر تاریخی یک جدایی و مرزی بین معادلات دینـامیکی و شرایط اولیه (یا مرزی) قائل بوده‌ایم و بین این دو تفاوت قایل می‌شدیم، اما در نظریه‌ای که بـه دنبال آن هستیم باید این مرز و جدایی از میان برداشته شود. اگر چنین شود، هم نظریهٔ گـرانش کوانتومی با نسبیت عام سازگار خواهد بود و هم به صورت طبیعـی فرضـیهٔ گذشـته را نتیجـه می‌دهد و از طریق آن عدم تقارن مورد نیاز بـرای تبیـین پیکـان زمـان حاصـل خواهـد شـد[۱۴] (Gołosz, 2021).

به نظر رووللی هر چند سناریویی که پنروز پیشنهاد می‌کند به لحاظ نظـری درسـت اسـت، ولی منشأ اصلی برگشت‌ناپذیری نیست. در واقع ما با این مسئله مواجهیم کـه بـر مبنـای مـدل استاندارد کیهان‌شناسی ماده در جهان اولیه در حالت تعادلی است و بنابراین در حداکثر آنتروپی قرار دارد (Weinberg, 2008). این امر در تنش ظاهری با فرضیهٔ‌گذشته است که متضـمن پـایین بودن آنتروپی در جهان اولیه است. رووللی برای پـایین بـودن آنتروپـی در کیهـان اولیـه تبیینـی متفاوت از پنروز ارایه می‌دهد. هر چند در تبیین او نیز گـرانش نقـش دارد، امـا ایـن نقـش در سناریوی او برای تبیین آنتروپیِ پایینِ جهانِ اولیه متفاوت است. رووللی تحت تأثیر استدلال‌هایِ ارمن (Earman, 2006) با تبیین‌هایی که وزنِ زیادی به نقش گرانش می‌دهند، مخالف است.

رووللی با تحلیل یک مدل ساده متشکل از سیلندر و پیستونی که تحت تأثیر نیروی خارجی است، نشان می دهد اگر سیستمی که در ابتدا در حالت تعادل است با سرعت زیاد (سریع تـر از زمان گرمایش) منبسط شود از حالت تعادل خارج می شود و برگشت‌ناپذیری ایجاد می‌کند. بر همین قیاس رووللی استدلال می کند که مطابق مدل او دلیل اینکه وضعیت جهان اندکی پـس از انفجار بزرگ به شدت از تعـادل خـارج شـد، وجـود فـاکتوری (scale factor) یـا یـک متغیـر دینامیکی است که بر حجم هر ناحیه متحرک فضا در کیهان‌شناسی فریدمن حـاکم اسـت. ایـن فاکتور شبیه متغیر «حجم» در مدل سیلندر و پیستون است. رووللی بر حسب این فـاکتور یـک مقدار تعادلی تعریف می‌کند. با این تفاوت که در مدل پیسـتون و سـیلندرْ تغییـر حجـم نتیجـهٔ اِعمال یک نیروی خارجی بر پیستون است، ولی تغییـر ایـن فـاکتور تحـت تـأثیر بـرهم کـنش دینامیکی با متغیرهای دیگری در جهان است. به نظر او منشأ انتروپیِ جهان اولیه بعد از انفجـار بزرگْ انحراف شدید از این مقدار تعادلی است. این مدل یـک جنبـهٔ کلیـدی را دربـارهٔ جهـان بازنمایی می کند: انبساط سریع کیهانی از طریق چنین فـاکتوری محتـوای مـادهٔ آن را از تعـادل خارج می‌کند و این منبع غالب برگشت‌ناپذیری فعلی در کیهان است (Rovelli, 2019). آنچه در اینجا اهمیت دارد و می‌خواهیم بر آن تأکید کنیم این است که تبیین او نیز متکی به مـدل‌هـایی

است شامل مفروضاتی که به ساختار فضازمان در کیهان اولیه ارتباط پیدا می‌کند؛ مانند انبساط دفعی کیهان اولیه.

پیشنهاد دیگری در زمینهٔ تبیین پیکان زمان که منتهی به درک فضازمان در کیهان اولیه می‌شود، از آن الیس است. الیس گذر زمان را واقعی می‌داند و در عین حال تلاش می‌کند آن را بر حسب واقعیات کیهان‌شناختی توضیح دهد. بنابراین پیکان زمانی که او دربارهٔ آن نظریه‌پردازی می‌کند، بنیادین به نظر نمی‌رسد. الیس پیکان‌های زمان، به‌خصوص پیکان ترمودینامیکی را محلی می‌داند و معتقد است این پیکان‌ها متأثر از و در هماهنگی با یک پیکان زمان بزرگ‌مقیاس کیهان‌شناختی ظهور پیدا می‌کنند. این پیکان بزرگ مقیاس هم از نظر او باید از طریق گرانش کوانتومی ظهور پیدا کرده باشد. او فرضیهٔ گذشته را برای تبیین پیکان آنتروپی به قدر کافی تبیین‌کننده نمی‌داند و معتقد است تا تأثیر قیود پیکان زمانِ کیهان‌شناختی بر این پیکان‌های محلی بیان نشود، توضیح کاملی ارایه نشده‌است.

به نظر الیس این وضعیت به بهترین وجه با یک جهان بلوکی در حال تکامل نشان داده می‌شود. در این تلقی از جهان، پیکان‌های محلی زمان (ترمودینامیکی، الکترودینامیکی، گرانشی، موجی، کوانتومی، بیولوژیکی) مطابق با جهت زمان کیهانی ظاهر می‌شوند. (emerge) به نظر الیس گذر زمان در مقیاس کلان غیرقابل انکار است و ارتباط آن با میکروفیزیک باید مشخص شود. این ارتباط از طریق علیت از بالا به پایین (downward causation) در سلسله مراتب ساختار علّی اتفاق می‌افتد. این ارتباط با میکروفیزیک، در سطح کوانتومی، از طریق فرایندِ تقلیل تابع موج کوانتومی، رخ می‌دهد که در طی آن فرایند آینده نامعین به گذشته قطعی تبدیل می‌شود (Ellis & Drossel, 2020).

در دیدگاه الیس و دیگرانی که به گرانش کوانتومی برای نوخاسته (emergence) بودن امید بسته‌اند، معلوم نیست که چطور ساختار فضازمان می‌تواند از چیزی بنیادی‌تر از خودِ فضازمان به صورت نوخاسته پدید آید و چرا و چگونه گرانش می‌تواند بنیادین‌تر از ساختار زمان باشد. آنچه در این قبیل تبیین‌ها دیده می‌شود، تبیین پیکان زمان یا جهت‌مندی خود ساختار زمان نیست، بلکه تبیین این است که چرا (به رغمِ وجود تقارنِ قوانینِ بنیادی نسبت به وارونیِ زمان) توزیع چیزی (ماده یا انرژی) «در زمان» به صورت جهت‌مند اتفاق می‌افتد. با این حال، کار الیس از این جهت شایستهٔ توجه است که به لحاظ هستی‌شناختی پیکان کیهان‌شناختی زمان را در تمایز با پیکان‌های محلی طرح می‌کند. این ایده از این جهت اهمیت دارد که پروژهٔ تبیین متاکولس را یک گام به جلو می‌برد و تبیین بر اساس فرضیهٔ گذشته را به سناریویی

کیهان‌شناختی پیوند می‌زند. بنابراین در پروژهٔ الیس نیز تبیین پیکان زمان به بررسی ساختار فضازمان در کیهان اولیه ارتباط پیدا می‌کند.

یک نمونه پیشنهاد دیگری که برای پیکان زمان ارایه شده است و به شناخت ساختارفضا زمان در کیهان اولیه می‌انجامد، از آنِ اسمولین است. او بر لزوم تمایز زمان از فضا تأکید دارد. به نظر اسمولین برای نمایش این تمایز به ریاضیاتی نیاز داریم که بین زمان و فضا تفاوت بگذارد. او می‌گوید:

> ما باید راهی پیدا کنیم که زمان را از یخ‌زدگی درآورد – یعنی زمان را بدون تبدیل آن به فضا بازنمایی کنیم. من هیچ ایده‌ای برای انجام این کار ندارم. نمی‌توانم ریاضیاتی را تصور کنم که جهانی را به گونه‌ای نمایش ندهد که انگار در ابدیت یخ زده‌است (Smolin, 2013:257).

اسمولین معتقد است جریان اصلی فیزیک در خصوص زمان مسیر درستی را نمی‌رود. او با شکایتِ اینشتین از اینکه در تلقی رایجْ زمان یک امر توهمی است همدل است و معتقد است باید این مسیر به نحوی اصلاح شود و بنیادینگی (fundamentality) و واقعیتِ زمان به فیزیک بازگردد. او ریشهٔ توهمی انگاشتنِ «زمان» در اندیشهٔ رایج را نتیجهٔ خلط مدل‌های ریاضیِ انتزاعی (که بی‌زمان‌اند) با واقعیت می‌داند. به نظر او این پیش‌فرض متافیزیکی تسرّیِ «بی‌زمانیِ» ریاضیات به فیزیک، ممکن است درست نباشد. اسمولین امیدوار است که در نظر گرفتن گرانش و وحدتِ مکانیک کوانتومی با فضازمان و کیهان‌شناسی – یعنی مسیری که رویکرد گرانش کوانتومی دنبال می‌کند – بتواند انقلابی در این زمینه به بار آورد (Ibid).

مادلین نیز در بنیادین در نظر گرفتنِ زمان با اسمولین هم عقیده است. به نظر او ما در مدل‌سازی و نمایش ریاضی دنیایِ اطراف خود گرفتار این پیش‌فرض متافیزیکی بوده‌ایم که زمان نیز مانند فضا است و به همین دلیل تمایزی در نمایش ریاضیِ آن‌ها در نظر نگرفتیم. در حالی‌که به نظر او، بر اساس شهود معمول ما، زمان دارای جهت است و باید برای نمایش آن از یک توپولوژی بهره می‌گرفتیم که نمایشی برای این «جهت‌مندی» داشته باشد. او تلاش کرده‌است که توپولوژی‌ای پیشنهاد کند که چنین ظرفیتی را برای نمایش جهت‌مندی داشته باشد (نک: Maudlin (2014)). به نظر او به‌کارگیری این توپولوژی منجر به درک جدیدی از فضازمان می‌شود که با شهود ما سازگارتر است – هر چند هنوز معلوم نیست که با این ساختار جدید توپولوژیکی با چه فیزیکی مواجه شویم. بنابراین دیدگاهِ اسمولین و مادلین نیز، به رغم

تفاوت‌ها، در نهایت به این نقطه می‌رسد که حل مسئلهٔ جهت‌مندیِ زمان در گروِ برنامهٔ پژوهشیِ اساسی‌تری در خصوص شناخت عمیق‌تر فضازمان است.

۵. نتیجه‌گیری

اگر هدف اصلی علم و فلسفه را واقع‌نمایی جهان بدانیم، تعامل نقادانهٔ این دو حوزه گریزناپذیر است.[۱۵] تاریخ علم نشان می‌دهد پرسش از اینکه بین علم و متافیزیک کدام اولویت دارند، پرسش دقیقی نیست، زیرا صورت‌بندیِ مسائل بنیادی و تفسیر نظریه‌های فیزیکی در چارچوب‌های متافیزیکی رخ می‌دهد و از سوی دیگر، تحول ساختاری نظریه‌ها و مدل‌سازی و ارزیابی‌های تجربی آنها در حیطهٔ فیزیک رقم می‌خورد. بسیاری از فعالیت‌های علمی و پژوهشی بدون توجه به زمینه‌های فلسفی و متافیزیکی انجام می‌شود. اما این پژوهش‌ها به تعبیر کوهن عمدتاً در دورهٔ علم عادی (متعارف) است. در مقابل، تأمل و نظریه‌پردازی دربارهٔ مسائلی بنیادی ما را در مسیر تغییراتی انقلابی در تحول علم قرار می‌دهد. به علاوه برخی مفروضات فلسفی و متافیزیکی حداقل به صورت غیرمستقیم می‌توانند حتی در صورت‌بندی و جهت‌دهی برخی آزمایش‌ها (مانند آزمون‌های مربوط به کشف ساختار اتر، یا آزمون‌های مختلف مربوط به قضیهٔ بل) مؤثر باشند و زمینهٔ شکل‌گیری فیزیکی جدید را رقم بزنند.[۱۶]

اگر به یک رویکرد طبیعت‌گرایانهٔ افراطی بچسبیم، باید بگوییم هر ادعای متافیزیکی را تنها زمانی باید جدّی گرفت که بتوان نشان داد چگونه از فیزیک نتیجه می‌شود[۱۷]. اما چنین رویکردی فعالیت علمی را در یک چارچوب مشخص متافیزیکی که همان متافیزیکِ طبیعی‌شده است محصور می‌کند – چارچوبی که پارادایم جاری یا علم عادی آن‌را تحمیل می‌کند. در حالی‌که در برهه‌هایی از تحولات علمی دانشمندانی مانند فارادی پا را از این چارچوب‌ها فراتر گذاشتند و متأثر از متافیزیکی که متفاوت از متافیزیک حاکم بود هستومندهای جدیدی مانند میدان را ارایه کردند و قوانین قبلی را که در چارچوب مکانیکی تفسیر و تعبیر می‌شد، در چارچوبی جدید تفسیر کردند. بدون فراروی از متافیزیک زمانه که حتی ماکسول هم تا مدتی به آن چسبیده بود، برداشتن گام‌های انقلابی میسر نیست.

در خصوص مسئلهٔ پیکانِ زمان نیز اتخاذ هر یک از دو رویکرد هیومی یا غیرهیومی می‌تواند ثمربخش باشد به اینِ معنا که به شکل‌گیری نظریه‌ها و پیشرفت علم کمک کند، به شرطی که منجر به دعاوی نقدناپذیر و نهایی نشود. رویکرد تقلیل‌گرا، به تعبیر کوهنی، محصور

در پارادایم علم دورهٔ عادی (normal science) است. این رویکرد فراتر از آنچه پارادایم کنونی مفروض گرفته است نمی‌رود. بنابراین نمی‌توان انتظار داشت که فیزیک دورهٔ عادی برای مسئله‌ای که اساساً خارج از چارچوب متافیزیکیِ مفروضِ آن صورت‌بندی شده‌است، توضیحی داشته‌باشد. به عبارتی رویکرد تقلیل‌گرایِ هیومیِ مسئلهٔ پیکان زمان را در چارچوب متافیزیکی فیزیک رایج صورت‌بندی می‌کند و در همان چارچوب نیز به آن پاسخ می‌گوید.[۱۸] این پاسخ‌ها قاعدتاً منجر به تغییری انقلابی نمی‌شوند، زیرا تغییرات انقلابی در علم، همراه با تغییر چارچوب‌های متافیزیکی است.

در مقابل، رویکرد غیرتقلیل‌گرا ظرفیت بیشتری برای طرح ایده‌های خارج از چارچوب فراهم می‌کند، با این حال این ریسک را دارد که به نظریه‌پردازی‌هایی منتهی شود که قابلیت ارزیابی تجربی را ندارند. این نحوهٔ نگرش اگر خوش‌اقبال باشد، می‌تواند چارچوبی برای صورت‌بندی مسائل آتی در فیزیک فراهم کند و منجر به تغییری عمیق‌تر و بنیادی‌تر در علم شود؛ یا اینکه مانند بسیاری از مسائل متافیزیکی همچنان در سطح نظریه‌های متافیزیکی باقی بماند. در این سطح این نظریه‌های متافیزیکی قدرت تبیینی دارند، ولی قابلیت ارزیابی تجربی ندارند و بنابراین مستقیماً به لحاظ تجربی ابطال‌ناپذیرند. آن‌ها را باید از جهات دیگری نقد و ارزیابی کرد. آن‌ها را باید از جهت قدرت آن‌ها در حل یا توضیح مسئلهٔ موردنظر و سازگاری با مفروضات متافیزیکیِ دیگر، به توضیحی که آمد، بررسی کرد.

از توضیحات فوق لزوماً نتیجه نمی‌شود که تنها رویکرد غیرتقلیل‌گرا ممکن است به یک نتیجهٔ انقلابی در علم منجر شود. تحول ساختاری نظریه‌ها در رویکرد تقلیل‌گرا ممکن است چنان صورت گیرد که دیگر امکان تعبیرِ آن در چارچوب متافیزیکی مقبولِ کنونی به سادگی میسر نباشد. برای نمونه ماکسول بسیار تلاش کرد که نظریهٔ میدانِ فارادی را در همان چارچوب مکانیک نیوتنی تفسیر کند. او برخی از جنبه‌های اساسیِ دیدگاه فارادی، مانند یکی انگاشتن ماده و میدان را کنار گذاشت و آن دو هویاتی اساساً متفاوت در نظر گرفت. در حالی‌که این جنبه از اندیشهٔ فارادی قدم مهمی در جهت کشفیات او و نظریهٔ میدان جدید بود. (Berkson, 2014: 116-117, 127; Harmann, 1982: 84). بنابراین فارادی و ماکسول هر چند ابتدا با دو رویکرد متفاوتِ متافیزیکی (یکی سازگار با فلسفهٔ مکانیکیِ نیوتنی و دیگری فلسفهٔ ضدنیوتنی) به بسط نظریهٔ الکترومغناطیس پرداختند، ولی همکاری نقادانهٔ این دو در نهایت منجر به هستی‌شناسی جدیدی برای فیزیک شد که شامل هویت جدیدی به نام «میدان» بود.

از یک سو به نظر می‌رسد که برنامهٔ پژوهشی هیومی به دلیل احتمالاتی‌بودنِ پیکان آنتروپی هنوز نتوانسته است توضیحی غیراحتمالاتی برای جهت‌مندی زمانی ارایه کند و این ربطی به تلقی ما از قوانین ندارد. به علاوه، خود فرضیهٔ گذشته نیازمند تبیین است. نکتهٔ دیگر اینکه توافقی بین رویکردهایی که تلاش می‌کنند ساختار زمان را بر مبنای گرانش کوانتومی توضیح دهند وجود ندارد. در مقابل برنامهٔ پژوهشی غیر هیومی هم هنوز ارتباطش با فیزیک روشن نیست. مثلاً هر چند مادلین با پیشنهاد یک توپولوژی جدید برای زمان تلاش کرده‌است گام‌هایی در این زمینه بردارد، با این حال در این حد صرفاً نمایش ریاضیاتی یک ساختار زمانی جهت‌مند را ارایه کرده است، ولی هنوز معلوم نیست که ما با این ساختار جدید توپولوژیکی با چه فیزیکی مواجه خواهیم شد.

بخشی از فعالیت فلسفی معطوف به ارزیابی اولویت و شایستگی مسائلی است که برای حل آن‌ها تلاش می‌کنیم. با توجه به توضیحاتی که ارایه شد، به نظر می‌رسد که با وجود تمایزاتِ اساسیِ دو برنامه پژوهشی هیومی و غیرهیومی در بین مسائل مختلفِ مرتبط با مسئلهٔ پیکان زمان، مسئلهٔ شناخت ساختار فضازمان در کیهان اولیه اولویت اساسی دارد .

پی‌نوشت‌ها

۱. برای یک آشنایی مروری با مسئلهٔ پیکان زمان به زبان فارسی و منابع مربوطه نک: (باردون، ۱۳۹۵؛ فتحعلیان و منصوری، ۱۳۹۹).

۲ . Humean Mosaicدیدگاه هیومی به قوانین قائل به ضرورت‌های متافیزیکی یا نومولوجیکی nomological برای قوانین نیست. در این دیدگاه قوانین چیزی بیش از توزیع‌ها یا الگوهایی از فکت‌ها (یا اموارواقع) یا روابط و ویژگی‌های مقوله‌ای بین هویاتی مانند ذرات و میدان و ... در فضازمان نیستند. به این الگوها یا توزیع‌ها اصطلاحاً 'موزاییک هیومی' می‌گویند.

۳. لوئر نام "منتاکولس" 'Mentaculus' را از فیلم 'Serious Man' برادران کوئن گرفته‌است که در آن شخصیتی در حال کار بر روی 'نقشه احتمالاتی جهان' است که آن را "منتاکولس" می‌نامد.

۴. فرضیهٔ گذشته به انحاء مختلفی بیان شده است. برای نمونه نک:

(Boltzmann, 1964; Uffink, 2007; Feynman, 1965; Goldstein 2001; Albert, 2000)

در خصوص نقدهای وارد به آن و بحث دربارهٔ تعبیر و تفسیر آن نک: (Earman 2006; Wallace, 2011).

۵. چالش‌هایی را که در رابطه با تلقی ترمودینامیکی مطرح می‌شوند در مراجع زیر ببینید: Winsberg, 2004; Parker, 2005; Earman, 2006.

۶. به طور خاص در رابطه با تلقی بهترین سیستم لوئیسی نک: (Loewer, 2004; 2001). برای استدلال‌های علیه آن نک: (Frigg, 2008; 2010; Winsberg, 2008)

۷. نگاه کنید بـه (Weinberg, 1993; (Penrose, 1989: 317-322; 2005, ch. 27); (North 2011: 20); 2008: 73).

۸. لازم به ذکر است که بولتزمن، غیر از فرضیهٔ گذشته، تصویر دومـی را نیـز در همـان مقالـه پیشـنهاد می‌کند و آن را ممکن می‌داند. در تصویر دوم، قانون دوم برای کل جهان معتبـر نیسـت و صـرفاً بـه صورت موضعی، در ناحیه‌ای که از قضا ما در آن قرار داریم، برقرار است.

۹. به عبارت دیگر، چنین حالتی با اینکه در فضای موقعیت‌های مکانی نسبتاً توده‌ای می‌شود، در فضای تکانه پخش می‌شود.

۱۰. گرچه کاملاً یکنواخت هم نبوده است. برای شروع فرایند توده‌ای شدن که منجر به تشکیل ستاره‌ها و کهکشان‌ها و غیره شود، قدری نایکنواختی لازم است.

۱۱. ضرورت ارایهٔ توضیحی برای حالت اولیه از سوی بسیاری مورد تأکید بوده است. نـک: Goldstein (2001); Sklar (1993, 309-318); Callender (1998, 2004a,b); North, (2002).
پنروز استدلال می‌کند که شاید بتوان تبیینی دینامیکی برای این ارایـه داد کـه چـرا حالـت اولیـه نامحتمل نیست؛ نک: Penrose (1989, ch.28; 2005b, ch.7) کرول و چن هم تلاش کرده‌اند حالت اولیه را با استفاده از ساختار بزرگ مقیاس جهان چندگانـه توضـیح دهنـد (Carroll & Chen, 2004, 2005; Carroll, 2008).

۱۲. مادلین تلاش کرده است که مبانی هندسی یک توپولوژیِ جهت‌مند را برای چنـین منظـوری ابـداع کند. نک: Maudlin (2014).

۱۳. همان‌طور که پوپر (Popper, 1959) و لاکاتوش (Lakatos, 1970) بر این نکتـه تأکیـد کردنـد فلسـفه همیشه منبع ایده‌های کلی برای علم بوده‌است. نمونه‌هایی از تأثیر متافیزیک بر علم نیـز در (Gołosz, 2011) آمده است، در آنجا متافیزیکی که مـی‌توانـد بـر علـم تـأثیر بگـذارد، متافیزیـک پایـه (basic metaphysics) نامیده می‌شود و از متافیزیک تفسـیری(interpretative metaphysics) متمـایز مـی‌شـود. متافیزیک تفسیری یعنی متافیزیکی که ممکن است به‌عنوان اثر تلاش‌های تفسیرِ نظریه‌های علمی در نظر گرفته شود.

۱۴. هر چند همه فیزیک‌دانان با چنین فرضی موافق نیستند، اما تلاش‌هایی هم در ایـن راسـتا صـورت گرفته‌است. مثلاً نظریه‌ای با عنوان مثلث دینامیکی علی(Causal Dynamical Triangulation (CDT ارایه شده‌است که در آن فضازمان دارایِ یک پیکان درونی برای زمان است و این ظرفیـت را دارد کـه بـا کمک آن بتوان بین علت و معلول تمایز قایل شد. با این حال به نظر نمی‌رسد چنین نظریه‌هایی منشأ عدم تقارن زمان را توضیح دهند؛ بلکه در نهایت آن‌را ویژگیِ بنیادینِ فضـازمان تلقـی مـی‌کننـد کـه نمی‌توان آن را از یک نظریهٔ بنیادی‌تر نتیجه گرفت (Gołosz, 2017). حتی در این صورت این مسـئله

پیش می‌آید که با لحاظ‌کردنِ این جهت‌مندی بنیادین برای زمان در ساختار فضازمان صورت‌بندی قوانین فیزیک چه وضعیتی پیدا می‌کند. در خصوص این نظریه نک: (Ambjørn et al, 2008a, b).

۱۵. در خصوص اهمیت تعامل فیزیک و متافیزیک نک: (منصوری و کرباسی‌زاده، ۱۴۰۰ ; Agassi, 1975)

۱۶. دربارهٔ اینکه متافیزیک می‌تواند منجر به فیزیکی جدید شود نک: (Agassi, 1975) و دربارهٔ زمینه‌هایی که منجر به آزمون‌های مربوط به کشف اتر شد، نک: (Maxwell, 1878)؛ دربارهٔ زمینه‌های فلسفی که منجر به ارایهٔ نامساوی بل و آزمایش‌های مربوط به آن شد، نک: (Maudlin 2011).

۱۷. برای چنین دیدگاهی نک: (Ladyman & Ross, 2007: 30).

۱۸. برای مثال ممکن است توضیح رویکرد هیومی برای جهت‌مندی زمان با پیکان ترمودینامیکی که احتمالاتی و آماری است حتی در پارادایم فیزیکِ رایج به قدر کافی قانع‌کننده نباشد (Esfeld, 2006).

کتاب‌نامه

باردون، آ. (۱۳۹۵). تاریخچهٔ فلسفهٔ زمان. مترجم: امیری‌آرا، ح. نشر کرگدن.

فتحعلیان، ن. و منصوری، ع. (۱۳۹۹). «عدم تقارن ترمودینامیکی زمان و فرضیهٔ گذشته برای کیهان اولیه». فلسفه علم. ۱۰(۱۹): ۱۷۱–۱۹۳.

منصوری، م. و کرباسی‌زاده، ا. (۱۴۰۰). «نقش و اهمیت متافیزیک برای علم». پژوهش های فلسفی. ۳۷(۱۵): ۲۰–۴۱.

Ambjørn J, Jurkiewicz J, Loll R. (2008a). “The self-organizing quantum universe”. Sci Am. Jul; 299(1):42-9. doi: 10.1038/scientificamerican0708-42. PMID: 18623963.

Ambjørn J, Görlich A, Jurkiewicz J, Loll R. (2008b). "Planckian birth of a quantum de sitter universe". Phys Rev Lett. Mar 7;100(9):091304. doi: 10.1103/Phys Rev Lett.100.091304. Epub 2008 Mar 7. PMID: 18352693.

Agassi, J. (1975). "Scientific Problems and Their Roots in Metaphysics," in Science in Flux: Boston Studies in the Philosophy of Science, Springer, Dordrecht.

Albert, D. (2000). Time and chance. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Arthur, R. T. (2019). The Reality of Time Flow. Springer International Publishing.

Berkson, W. (2014). Fields of Force: The Development of a World View from Faraday to Einstein. Routledge.

Bergson, H. (1944). Creative Evolution. Trans. by Arthur Mitchell. New York: Random House.

Boltzmann, Ludwig (1964). Lectures on Gas Theory. Berkeley: University of California Press. Tr. S. G. Brush. Originally published in German in 1896.

Boltzmann, L. (1896). 'On Zermelo's Paper "On the mechanical explanation of irreversible processes". In S. Brush (Ed.), Kinetic Theory, Vol. 2 – Irreversible Processes. Pergamon.

Bricmont, J., (1995). “Science of Chaos or Chaos in Science?,” Physicalia Magazine, 17/3–4: 159–208.

Broad, C. D. (1938). Examination of McTaggart’s Philosophy.Cambridge University Press, Cambridge.

Callender, C. (2004a). “Measures, Explanation and the Past: Should ‘Special’ Initial Conditions Be Explained?” British Journal for the Philosophy of Science 55, 195–217.

Callender, C. (2004b). “There is no puzzle about the low-entropy past”. In C. Hitchcock (Ed.), Contemporary debates in philosophy of science (pp. 240–255). London: Blackwell.

Callender, C. (2011). “Thermodynamic Asymmetry in Time”, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/time-thermo/>.

Carroll, S. M. (2008). “DoesTime Run Backward in Other Universes?” Scientific American. 298N6, 26-33 [arXiv:0811.3772 [gr-qc]].

Carroll, S. M., Chen, J. (2004). “Spontaneous Inflation and the Origin of the Arrow of Time.” URL hep-th/0410270.

Carroll, S. M., Chen, J. (2005). “Does Inflation Provide Natural Initial Conditions for the Universe?” URL gr-qc/0505037.

Chen, E. K. (2020), The Past Hypothesis and the Nature of Physical Laws, Forthcoming in Barry Loewer, EricWinsberg, and BradWeslake (eds.), Time’s Arrows and the Probability Structure of the World, Harvard University Press.

Earman, J. (2006). “The “Past Hypothesis”: Not even false”. Studies in History and Philosophy of Modern Physics 37 (3):399-430.

Eddington, A. S. (1929). The Nature of Physical World. Macmillan, New York: Cambridge University Press, Cambridge.

Ellis, G. F. R. (2006). “Physics in the real universe: time and spacetime”. Gen. Relativ. Gravit. 38, 1797–1824.

Ellis, G. F. R. (2014). “The Evolving Block Universe and the Meshing Together of Times”. Annals of the New York Academy of Sciences 1326(1): 26–41. https://arxiv.org/pdf/1407.7243.

Ellis, G. F. R., & Drossel, B. (2020). “Emergence of time”. Foundations of Physics, 50(3), 161-190. https://doi.org/10.1007/s10701-020-00331-x

Esfeld M. (2006), Popper on Irreversibility and the Arrow of Time in Ian Jarvie, Karl Milford and David Miller (eds.): Karl Popper: A centenary assessment. Volume III: Science and social science. Aldershot: Ashgate Spring 2006.

Farr, M. (2022). "What's so special about initial conditions? Understanding the past hypothesis in directionless time." In Rethinking the Concept of Law of Nature: Natural Order in the Light of Contemporary Science (pp. 205-224). Cham: Springer International Publishing.

Feynman, Richard (1965). The Character of Physical Law. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Frigg, R. (2008). "Chance in Boltzmannian Statistical Mechanics", Philosophy of Science, 75, Volume 5, pp. 670-681. Doi: 10.1086/594513.

Frigg, Roman. (2009). "Typicality and the Approach to Equilibrium in Boltzmannian Statistical Mechanics." Philosophy of Science 76:997–1008.

Frigg, R. (2010). "Probability in Boltzmannian Statistical Mechanics." In Gerhard Ernst and Andreas Hüttemann, eds., Time, Chance and Reduction: Philosophical Aspects of Statistical Mechanics, pp. 92–118. Cambridge University Press.

Goldstein, S. (2001). "Boltzmann's approach to statistical mechanics," in J. Bricmont; D. Durr; M. Galavotti; F. Petruccione& N. Zanghi, ed., In: Chance in Physics: Foundations and Perspectives, Springer, Berlin, p. 39.

Goldstein, S. (2012). Typicality and notions of probability in physics. Probability in physics, 59-71.

Goldstein, S., & Lebowitz, J. (2004). "On the (Boltzmann) entropy of nonequilibrium systems". Physica D, 193, 53–66 Gołosz, J. (2011). Science, Metaphysics, and Scientific Realism. Pol. J. Philos., Volume 5, pp. 27-45.

Gołosz, J., 2011. "Science, Metaphysics, and Scientific Realism". Pol. J. Philos., Volume 5, pp. 27-45.

Gołosz, J. (2020). "In Defence of a Dynamic View of Reality". An anthology of philosophical studies, Volume 14, pp. 35-47.

Gołosz, J. (2021). "Entropy and the Direction of Time". Entropy, 23, 388.

Gołosz, J. (2017). "The Asymmetry of Time: A Philosopher's Reflections". Acta Phys. Pol. B, 48, 1935–1946. (p.1940)

Greene, B. (2004). The Fabric of the Cosmos: Space, Time, and the Texture of Reality. New York: Knopf.

Harmann, P. (1982). Energy, Force and Matter. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Ladyman, J., Ross, D. (2007). Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized, Oxford University Press.

Lakatos, I. (1970). "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes". In I. Lakatos, & A. Musgrave, (eds.), Criticism and the Growth of Knowledge. Cambridge: Cambridge University Press.

Loew, C. (2018). "Fundamentality and time's arrow." Philosophy of Science 85.3 (2018): 483-500.

Loewer, B. (2001). "Determinism and Chance." Studies in History and Philosophy of Modern Physics 32, 609–620.

Loewer, B . (2012). "Two accounts of laws and time." Philosophical studies 160.1 : 115-137.

Maudlin, T. (2007a). The metaphysics within physics. Oxford University press.

Maudlin, T. (2007b). "What Could Be Objective about Probabilities?" Studies in History and Philosophy of Science B 38:275–91.

Maudlin, T. (2011). Quantum non-locality and relativity: Metaphysical intimations of modern physics. John Wiley & Sons.

Maudlin, T. (2014). New Foundations for Physical Geometry: The Theory of Linear Structures. Oxford University Press.

Maxwell, J. C. (1878). Ether, Britannica, 9th edition.

North, J. (2002). "What is the Problem about the Time-Asymmetry of Thermodynamics?—A Reply to Price." British Journal for the Philosophy of Science 53, 121–136.

North, J. (2011). Time in thermodynamics. The oxford handbook of philosophy of time, 312-350.

Parker, D. (2005). "Thermodynamic Irreversibility: Does the Big Bang Explain What It Purports to Explain?" Philosophy of Science (Proceedings) 72, 751–763.

Penrose, R. (1989). The Emperor's New Mind. Oxford: Oxford University Press.

Penrose, R. (2005) The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe. Alfred A. Knopf, New York.

Popper, K. R. (1959). The Logic of Scientific Discovery. Hutchinson: London.

Popper, K. (1983). Metaphysics and Criticizability. In D. Miller, & D. Miller (Ed.), A Pocket Popper, K. (2005). Popper Selections (pp. 209-219). Glasgow: Fontana Press.The Road to Reality. New York: Knopf.

Popper, K. R. (1979). Objective knowledge: An evolutionary approach. Oxford: Clarendon press.

Price, H. (1996). Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time, New York: Oxford University Press.

Price, H. (2002a). "Boltzmann's Time Bomb." British Journal for the Philosophy of Science 53, 83–119.

Price, H. (2002b). "Burbury's Last Case: The Mystery of the Entropic Arrow." In Craig Callender, ed., Time, Reality and Experience, pp. 19–56. Cambridge University Press.

Price, H. (2004). "On the Origins of the Arrow of Time: Why There is Still a Puzzle about the Low-Entropy Past." In Christopher Hitchcock, ed., Contemporary Debates in Philosophy of Science, pp. 219–239. Oxford: Blackwell.

Rovelli, C. (2019). "Where was past low-entropy?." Entropy 21.5: 466.

Sklar, L. (1993). Physics and chance: Philosophical issues in the foundations of statistical mechanics. Cambridge University Press.

Sklar, L. (2005). “Physics and the Direction of Time”. In Encyclopedia of Philosophy, 2nd ed.; Borchert, D.M., Ed.; Thomson Gale: Detroit, MI, USA; New York, NY, USA.

Smolin, L. (2013). Time Reborn: From the Crisis in Physics to the Future of the Universe; Houghton Mifflin Harcourt: Boston, MA, USA, p. 257.

Uffink, J. (2007) “Compendium to the foundations of classical statistical mechanics”, in Handbook for the Philosophy of Physics, J. Butterfield and J. Earman (eds.), Amsterdam: Elsevier, pp. 924–1074.

Wallace, D. (2011). The logic of the past hypothesis. In Barry Loewer, Eric Winsberg & Brad Weslake (eds.), Currently-unnamed volume discussing David Albert's "Time and Chance".

Weinberg, S. (1993). The first three minutes: a modern view of the origin of the universe. basic books.

Weinberg, S. (2008). Cosmology; Oxford University Press: Oxford, UK, 1993;

Winsberg, E. (2004). “Can Conditioning on the “Past Hypothesis” Militate Against the Reversibility Objections?” Philosophy of Science (Proceedings) 71, 489–504.

Winsberg, E. (2008). “Laws and Chances in Statistical Mechanics.” Studies in History and Philosophy of Modern Physics 39, 872–888.