The Quarterly Journal of
PHILOSOPHICAL INVESTIGATIONS
University of Tabriz

Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021

General Relativity and Philosophy

Mohammad Ebrahim Maghsoudi (corresponding author)
Ph.D. Candidate in Phlosophy of Science, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. *moh.maghsoudi@student.sharif.ir*

Mehdi Golshani
Distinguished Professor in Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
mehdigolshani@yahoo.com

interaction between sciences and philosophy

Abstract

Is philosophy useful for physics? Many physicists and philosophers believe that it is; but there are those who challenge the usefulness of philosophy for science. Three major objections can be identified in their reasoning: 1. Philosophy's death diagnosis, which states that philosophy is dead and has nothing new to teach us. 2. Historic-agnostic argument/challenge, which states that there is no historical evidence for the claim that philosophy is useful for science, or if it is, it is unknown to us. 3. The division of property argument, which states that philosophy and science are two distinct fields. The purpose of this article is to respond to these three objections by examining the case study of the relationship between general relativity and philosophy. By looking at the history of the formation and development of general relativity, we will argue that: 1. Philosophy has led to a refinement and deep understanding of the important concepts of covariance and invariance. 2. There is clear historical evidence for the positive influence of philosophy on the development of the core concepts of general relativity, as one of the most important physical theories, as well as the undeniable evidence for the key role of some philosophers in the development of the theory. 3. Physics and philosophy, in seeking answers to fundamental questions, are two highly intertwined fields.

Keywords: The role of Philosophy, Physics and Philosophy, General Relativity, Einstein, Schlick, Friedman, Earman and Norton.

Type of Article: **Original Research**
Received date: **2021.9.14** Accepted date: **2021.12.7**
DOI: **10.22034/jpiut.2021.47940.2968**
Journal ISSN (print): **2251-7960 ISSN (online): 2423-4419**
Journal Homepage: **www.philosophy.tabrizu.ac.ir**

1. General Relativity and Philosophy

A major part of the story of the invention of general relativity is Einstein's attempt to find the field equations. The principle of general covariance is one of the most fundamental principles of general relativity. In 1912 the exact meaning and the physical content of general covariance were not clear to Einstein. Therefore, he abandoned the pursuit of general covariance. In the summer of 1913, when he intended to find a justification for this abandonment, he found the hole argument, which states that generally covariant theories contradict determinism. Even after presenting the field equations of general relativity, he still was not informed of the significance of coordinate frames and the flaw of the hole argument.

Einstein's philosophical response to the hole argument, the so-called point-coincidence argument, was presented after the publication of the covariant field equations of general relativity. It has recently been revealed that Schlick's and Kretchmann's reflections on the significance of coordinates and their discussions with Einstein have played a key role in this regard. Kretchmann has also argued that the principle of general covariance has no physical content. Einstein accepts Kretchmann's critique at the cost of facing the question that what distinguishes general relativity from other theories of gravity? The answer to this question was provided by the Anderson-Friedman program which has clarified the intrinsic geometric structure of the theory and the meanings of 'covariance' and 'invariance'.

In 1987, Earman and Norton reconstruct the hole argument: given the generally covariant field equations of general relativity, manifold substantivalism would lead to a kind of undesirable indeterminism. Therefore, substantivalism is not acceptable. (Manifold substantivalism is the claim that the points of space-time exist independently of the events that take place at them and are ontologically prior to them.) According to Earman and Norton, the only way to avoid the undesirable indeterminism is to consider the state of affairs described by the equivalent solutions of the field equations as same. Earman believes that a distinction must be made between two principles: the principle of merely formal general covariance and what he calls the principle of substantive general covariance. Generally covariant formulations of the alternative gravitation theories satisfy only the merely formal general covariance; while general relativity satisfies both the principles.

international journal of physics and philosophy

2. Physics and Philosophy

Conceptual analysis, attention to contradictions, paradoxes, confusions, and ambiguities, assessing validity and soundness of arguments, providing innovative ideas, and giving unified explanations are the hallmarks of philosophy. By using such tools, philosophy has led to the precise definition and so a better understanding of the important concepts of 'covariance' and 'invariance' as well as provided a better understanding of general relativity. So, philosophy has an influence on physics. Some mistakenly equate philosophy with a fanatical adherence to a particular philosophical position. The claim is not that a particular philosophical position has a positive influence on physics, rather is that philosophy, in the general sense, which is the use of intellectual tools for theorizing and providing better understandings, is useful for physics.

Contrary to the presupposition of the historic-agnostic challenge, history has been the scene of constructive interaction between physicists and philosophers. We have mentioned the role that Moritz Schlick, Michael Friedman, John Earman, and John Norton play in the development of general relativity.

The division of property argument is flawed because even if science and philosophy have fundamentally different methodologies, this does not necessarily mean either that they are irrelevant, or that it is impossible for philosophy to have a positive influence on physics. Another defect of the division of property argument is oversimplification and subsequently ignoring the intertwined nature of physics and philosophy in addressing fundamental questions. In fact, some consider "foundational physics" and "philosophy of physics" to be two labels for the same field. Separating physics from philosophy, either in content or in methodology, requires ignoring the spectral nature of the fundamental questions.

References

- De Haro, Sebastian (2019) "Science and Philosophy: A Love-Hate Relationship", *Foundations of Science*, 25: 297–314.
- Earman, J. (2006) "Two challenges to the requirement of substantive general covariance", *synthesis*, 148: 443–68.
- Friedman, Michael (1983) *Foundations of space-time theories: Relativistic physics and philosophy of science*, Princeton University Press.
- Gutfreund, Hanoch and Renn, Jurgen. (2015) *The Road to Relativity: The History and Meaning of Einstein's "The Foundation of General Relativity"*, Princeton University Press.
- Rovelli, Carlo (2018) "Physics Needs Philosophy. Philosophy Needs Physics", *Foundations of Physics*, 48(5): 481-491.

interaction between sciences and philosophy

مجله علمی پژوهش‌های فلسفی دانشگاه تبریز
سال ۱۵/ شماره ۳۷/ زمستان ۱۴۰۰

نسبیت عام و فلسفه

محمدابراهیم مقصودی (نویسنده مسئول)
دانشجوی دکتری فلسفه علم، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
moh.maghsoudi@student.sharif.ir

مهدی گلشنی
استاد ممتاز دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
mehdigolshani@yahoo.com

چکیده

آیا فلسفه برای فیزیک مفید است؟ پاسخ بسیاری از فیزیک‌دانان و فلاسفه مثبت است؛ اما هستند کسانی که مفید بودن فلسفه برای علم را به چالش می‌کشند. سه اعتراض عمده را می‌توان در خطفکری این دسته تشخیص داد: ۱. اعلام مرگ فلسفه، که بیان می‌دارد فلسفه مرده است و چیز جدیدی به ما نخواهد آموخت؛ ۲. استدلال یا چالش تاریخی–ندانم‌گرایانه، که بیان می‌دارد هیچ شاهد تاریخی مبنی بر مفیدبودن فلسفه برای علم وجود ندارد، یا دست‌کم شناخته‌شده نیست. ۳. استدلال «جداکردن حساب»، که بیان می‌دارد فلسفه و علم دو حوزهٔ کاملاً جداگانه هستند. هدف این مقاله پاسخ‌دادن به این سه اعتراض است؛ اما برای این‌کار مطالعهٔ موردی ارتباط نسبیت عام و فلسفه را اساس قرار می‌دهد. با نظر کردن به تاریخچهٔ شکل‌گیری و بسط نسبیت عام، استدلال خواهیم کرد که: ۱. فلسفه‌ورزی سبب تدقیق و فهم مفاهیم اساسی «همومورداییی» و «ناوردایی» شده است. ۲. شواهد تاریخی روشنی له تاثیرگذاری مثبت فلسفه بر بسط مفاهیم نسبیت عام، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نظریه‌های فیزیکی و همچنین، شواهد انکارناپذیری له نقش‌آفرینی برخی فلاسفه در تکامل این نظریه وجود دارد. ۳. فیزیک و فلسفه، در بحث از پرسش‌های بنیادی، دو حوزهٔ به‌شدت درهم‌تنیده هستند.

کلیدواژه‌ها: نقش فلسفه، فیزیک و فلسفه، فلسفهٔ نسبیت عام، اینشتین، شلیک، فریدمن، ارمان و نورتن.

نوع مقاله: **پژوهشی**
تاریخ دریافت: **۱۴۰۰/۶/۲۳** تاریخ پذیرش: **۱۴۰۰/۹/۱۶**

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69

۱. مقدّمه

مناقشه بر سر مفید بودن فلسفه برای علم، به‌طور کلی، یا فلسفه برای فیزیک، به‌طور خاص، مناقشه‌ای کهن است، که ریشهٔ آن دست‌کم به یونان باستان بازمی‌گردد، زمانی که مکتب آیساکراتس و آکادمی افلاطون در رقابت با هم پایه‌های دانش غربی را مستحکم می‌ساختند. مکتب آیساکراتس بر علوم کاربردی، همچون مهندسی و وکالت تاکید داشت؛ در حالی که آکادمی افلاطون بر فلسفه، به معنایی گسترده که ریاضی و علوم تجربی را نیز در بر داشت، تاکید می‌کرد. در همین زمان بود که احتمالاً اولین دفاعیهٔ رسمی از فلسفه توسط ارسطو در رساله‌ای با عنوان پراترپتیکوس(Protrepticus) ارائه شد. او فلسفه را برای توسعهٔ کاربردها، شناخت و تحلیل روش علم‌ورزی و فهم عمیق علم ضروری می‌دانست(Rovelli, 2018). از آن زمان تاکنون، دست‌کم در ظاهر، بسیاری از حوزه‌ها از فلسفه جدا شدند و به علم پیوستند؛ اما همچنان از طریق پرسش‌هایی اساسی که علم به تنهایی برای پاسخ‌دادن به آن‌ها کافی به‌نظر نمی‌رسید، ارتباط خود را با فلسفه حفظ کردند (Rosenberg, 2005: 2-6). مناقشه بر سر مفیدبودن فلسفه برای علم نیز همچنان باقیست و حتی با جدایی حوزه‌هایی از فلسفه، با لباسی مبدل، به آن حوزه‌ها نیز سرایت کرده است. به‌عنوان مثال، درخصوص مفیدبودن فیزیک نظری و ریاضی محض برای حوزه‌های کاربردی همواره مناقشه‌هایی وجود داشته است.

بسیاری از فیزیک‌دانان و از فلاسفه، پذیرفته‌اند که فیزیک برای فلسفه مفید است. با آنچه که از فیزیک می‌آموزیم، می‌توانیم به عدم‌صحت و الزام‌آور نبودن برخی استدلال‌های فلسفی پی ببریم. آرکیتاس به‌نحو پیشینی استدلال کرده است که فضا نمی‌تواند محدود باشد؛ اما فیزیک مدل‌های به‌لحاظ ریاضی سازگاری از جهان محدود به ما معرفی می‌کند. پس چیزی در استدلال آرکیتاس(Archytas) دچار اشکال است(Huggett, 2010: 32-41). استدلال‌های مشابهی نیز درخصوص متناهی‌بودن گذشته یا آینده وجود دارند. واینگارد استدلال کرده است که علی‌رغم برقراری شرایط مشابه، کسی مایل نیست استدلاهای مشابهی را در موقعیتی که با تکینگی سیاه‌چالهٔ شوارتزشیلد روبه‌رو هستیم، به‌کار بَرَد؛ بنابراین چیزی در آن استدلال‌ها دچار اشکال است(Weingard, 1979: 196-202). فیزیک امکاناتی را به ما متذکر می‌شود که پیش‌تر آن‌ها را نمی‌شناختیم؛ فیزیک مدل‌هایی را در اختیار ما قرار می‌دهد تا بتوانیم صحت برخی استدلال‌های فلسفی را بسنجیم.

آیا فلسفه نیز برای فیزیک مفید است؟ پاسخ بسیاری از فیزیک‌دانان و فلاسفه مثبت است؛ اما هستند کسانی که مفید بودن فلسفه برای علم را به چالش می‌کشند و در میان آن‌ها نام‌های بزرگی چون واینبرگ و هاوکینگ نیز به چشم می‌خورند(Weinberg, 1994: ch.7; Hawking and Mlodinow, 2010: 5). سه اعتراض عمده را می‌توان در خط فکری این دسته تشخیص

interaction between sciences and philosophy

داد: ۱. اعلام مرگ فلسفه[۱]، که بیان می‌دارد فلسفه مرده است و چیز جدیدی به ما نخواهد آموخت؛ فلسفه در گذشته نیز بر علم بی‌تاثیر بوده است، یا تاثیری منفی داشته است؛ در اندک مواردی هم که تاثیری مثبت را می‌توان به آن نسبت داد، این تاثیر رهاکردن علم از فلسفه‌ای دیگر بوده است. ۲. استدلال یا چالش تاریخی–ندانم‌گرایانه[۲]، که بیان می‌دارد هیچ شاهد تاریخی مبنی بر مفیدبودن فلسفه برای علم وجود ندارد، یا دست‌کم شناخته‌شده نیست و این بر عهدهٔ مدافع مفیدبودن فلسفه برای علم است که چنین نمونه‌هایی را ارائه کند. برعکس، می‌توان شواهد متعددی از تاثیر منفی فلسفه بر علم یافت. ۳. استدلال «جداکردن حساب»[۳]، که بیان می‌دارد فلسفه و علم دو حوزهٔ جداگانه هستند، با روش‌شناسی‌های متفاوت. بنابراین، هیچ ارتباطی با یکدیگر نمی‌توانند داشته باشند(de Haro, 2019).

هدف این مقاله پاسخ‌دادن به این سه اعتراض است؛ اما برای این‌کار مطالعهٔ موردی ارتباط نسبیت عام و فلسفه را اساس قرار می‌دهد. با نظر کردن به تاریخچهٔ شکل‌گیری و بسط نسبیت عام، نشان خواهیم داد که: ۱. فلسفه‌ورزی سبب تدقیق و فهم مفاهیم اساسی «هموردایی» و «ناوردایی» شده است. بنابراین فلسفه نمرده است و هنوز چیزهای مهمی برای آموختن به ما دارد. فلسفه بر علم بی‌تاثیر نیست و تاثیر مثبت آن نیز محدود به ایفای نقشی سلبی نیست. ۲. شواهد تاریخی روشنی له تاثیرگذاری مثبت فلسفه بر بسط مفاهیم نسبیت عام، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نظریه‌های فیزیکی، وجود دارد و همچنین، شواهد انکارناپذیری له نقش‌آفرینی برخی فلاسفه در تکامل این نظریه. به‌طور خاص به نقش موریتس شلیک، مایکل فریدمن، جان ارمان و جان نورتون اشاره خواهیم کرد. بدین‌ترتیب، نشان داده‌ایم که چالش تاریخی–ندانم‌گرایانه پاسخی درخور می‌یابد. ۳. تفاوت در روش‌شناسی لزوماً به منزلهٔ بی‌ارتباطی و عدم‌امکان تاثیرگذاری مثبت نیست. همچنین فیزیک و فلسفه، زمانی که به پرسش‌های بنیادی می‌پردازند، دو حوزهٔ به‌شدت در هم تنیده هستند.

در بخش‌های ۲ تا ۶ به مسئلهٔ فلسفی معنا و اهمیت مختصات در نسبیت عام و تحلیل فلسفی مفاهیم هموردایی و ناوردایی در بستری تاریخی می‌پردازیم. در بخش۷، با در نظر گرفتن آنچه که از این مطالعهٔ موردی آموختیم، به ارتباط فیزیک و فلسفه نظر می‌کنیم.

۲. اینشتین و ابداع نسبیت عام

نسبیت عام نظریهٔ فضازمان و گرانش است. به لحاظ ساختار نظری، نسبیت عام در تشابه با مکانیک نیوتنی و الکترومغناطیس ماکسولی، به‌صورت نوعی نظریهٔ میدان ساخته شده است. در این رویکرد، گرانش به‌عنوان میدان تلقی می‌گردد؛ اما این میدان بر روی فضازمان واقع نشده است، بلکه نوعی از انحنای فضازمان است. نظریهٔ میدان شامل دو معادلهٔ اساسی است: معادلهٔ میدان و معادلهٔ

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69

ژئودزیک. اولی مشخص می‌کند که جرم (یا میدان غیرگرانشی) معینی چه انحنایی را در فضازمانی که در آن واقع شده است، ایجاد می‌کند. دومی مشخص می‌کند که جرم آزمون در فضازمان داده‌شده روی چه مسیری حرکت می‌کند. بخش عمدهٔ داستان ابداع نسبیت عام، حدود یک‌دهه تلاش اینشتین برای یافتن معادلهٔ میدان نسبیت عام است[۴].

استاچل، فیزیک‌دان و اینشتین‌پژوه، تلاش برای تدوین نسبیت عام را دِرامی در سه پرده می‌داند: پردهٔ اول در ۱۹۰۷ به وقوع می‌پیوندد، زمانی که اینشتین ایدهٔ اساسی اصل هم‌ارزی[۵] را فرمول‌بندی می‌کند. پردهٔ دوم در ۱۹۱۲ به وقوع می‌پیوندد، زمانی که اینشتین متریک فضازمان را برای توصیف میدان گرانشی به‌کار می‌گیرد. پردهٔ سوم، با پایانی خوش، در ۱۹۱۵ به وقوع می‌پیوندد، زمانی که اینشتین معادلات میدان گرانشی را صورت‌بندی می‌کند و با موفقیت اعوجاج پیش‌روی حضیض عُطارد را تبیین می‌کند(Stachel, 2007). اینشتین خیلی زود به ناقص‌بودن نسبیت خاص پی‌برد و سعی کرد گرانش را نیز در فضازمان بگنجاند. نسبیت خاص نظریه‌ای دربارهٔ فضازمان است. می‌توان نسبیت خاص را به چارچوب‌های شتاب‌دار تعمیم داد و از روابط میان چارچوب‌های شتاب‌دار سخن گفت(Helzer, 2000)؛ اما برای افزودن گرانش به فضازمان ناچاریم از به‌کارگرفتن هندسهٔ تخت دست بکشیم.

اینشتین تعمیم‌دادن نسبیت خاص را با نقد فلسفی ماخ به مکانیک کلاسیک آغاز کرد. ماخ، بر خلاف نظر نیوتن، نیروهای گریز از مرکز، که عامل انحنای سطح آب در سطلی چرخان هستند، را به‌عنوان اثر حرکت شتاب‌دار نسبت به فضای مطلق تعبیر نمی‌کرد، بلکه آن‌ها را به‌عنوان اثری ناشی از سایر اجرام موجود در عالم تلقی می‌کرد[۶]. اینشتین متذکر شد که اصل هم‌ارزی گالیله باید به‌طریقی به نگاه خاص ماخ در مکانیک مرتبط باشد[۷]. پی‌گرفتنِ این خط فکری، او را به «شادترین فکرِ» زندگی‌اش رهنمون شد، چیزی که اکنون آن را اصل هم ارزی اینشتین می‌نامیم. طبق این اصل، میدان گرانشی نیز تنها وجودی نسبی دارد، زیرا برای ناظری در حال سقوط آزاد روی سطح زمین، حداقل در همسایگی کوچکی در اطرافش، هیچ میدان گرانشی‌ای وجود ندارد.

در ۱۹۰۹ اینشتین به‌عنوان استاد حق‌التدریس در دانشگاه زوریخ برگزیده شد. در کمتر از شش ماه بعد سمت بالاتری به او پیشنهاد شد: استاد تمام در بخش آلمانی دانشگاه چارلز در پراگ. مشوق او فیزیک‌دان تجربی معروف لامپا(Lampa, Anton)، از پیروان دوآتشهٔ ماخ، بود که امیدوار بود اینشتین در این موقعیت جدید به بسط و ترویج ایده‌های ماخ همت بگمارد. اینشتین سرانجام در ۱۹۱۱ به پراگ نقل مکان کرد. حاصل کار او در این ایام سه سند مهم است: دفتر یادداشت زوریخ، مقالهٔ Entwurf اینشتین-گروسمان(Grossmann, Marcel) و دست‌نوشت اینشتین-بسو(Besso, Michele). در دفتر یادداشت زوریخ، که نوشتن آن از اواسط ۱۹۱۲ تا اوایل ۱۹۱۳ به طول می‌انجامد، اینشتین به کمک گروسمان مفاهیم و روش‌های محاسبات

interaction between sciences and philosophy

تانسوری و هندسهٔ ریمانی را در نسبیت عام پایه‌ریزی کردند. دفتر یادداشت زوریخ همچنین حاوی ایدهٔ کلی همموردایی عام نیز بود.

نسبیت خاص مبتنی بر اصل نسبیت است. طبق این اصل، قوانین فیزیک در تمام چارچوب‌های لخت یکسان هستند، یا به بیان دیگر، تحت تبدیلات لورنتس ناوردا باقی می‌مانند. اصل همموردایی عام، قرار است تعمیم اصل نسبیت باشد. طبق این اصل، تمام ناظرها، لخت یا غیرلخت، هم ارز هستند. بنابراین، قوانین فیزیک را می‌توان به‌نحوی صورت‌بندی کرد که تحت هر تبدیل مختصات دلخواهی ناوردا باقی بمانند. برای این منظور، قوانین فیزیک باید صورت‌بندی تانسوری داشته باشند. به بیان دیگر، کمیت‌های فیزیکی باید توسط اشیاء هندسیِ مستقل از مختصات توصیف شوند و قوانین فیزیک نیز باید به عنوان روابط هندسی میان آن‌ها قابل‌بیان باشند.

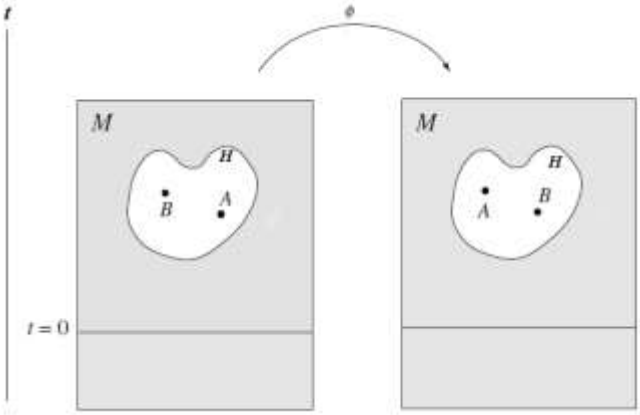
> **اصل همموردایی عام (بیان اولیه).** نظریه‌ای همموردای عام است، اگر معادلات آن، که قوانین فیزیکی را بیان می‌کنند، تحت تبدیلات مختصاتی دلخواه (یا عام) هموار، از نظر صورت، ناوردا باقی بمانند.

در ۱۹۱۲ معنای دقیق و محتوای فیزیکی همموردایی عام برای اینشتین و گروسمن چندان روشن نبود. بنابراین، آن‌ها پیگیری تقاضای همموردایی عام را رها کردند. حاصل کار آن‌ها چیزی است که با عنوان نظریهٔ Entwurf شناخته می‌شود و همموردای عام نیست. علی‌رغم این مطلب و برخی نقائص دیگر، اینشتین خود را قانع کرد که این بهترین چیزی است که می‌توان به‌دست آورد و به‌نظر می‌رسد که حداقل تا تابستان ۱۹۱۵ از حاصل کار خود راضی بوده است. در چارچوب همین نظریه است که او و بِسو برای اولین بار محاسبات مربوط به پیش‌روی حضیض عطارد را انجام دادند. این نتایج در دستنوشت اینشتین–بسو، که نیمی از محاسبات آن مربوط به اینشتین و نیم دیگر از آنِ بسو است، آمده‌اند.

اینشتین ابتدا با تالّم زیاد آرزوی همموردایی عام را رها کرد. او در نامه به لورنتس از فقدان همموردایی عام با عنوان «نقطهٔ تاریک زشت» یاد کرد. اما زمانی که به دنبال توجیه این نقصان گشت، در تابستان ۱۹۱۳، استدلال حفره(Hole argument) را یافت، که بیان می‌دارد نظریات همموردای عام با موجبیّت‌گرایی در تضاد هستند.

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69



اینشتین فضازمانی را در نظر می‌گیرد که به‌جز در ناحیهٔ بستهٔ H که حفره نامیده می‌شود، از ماده پر شده است. همچنین این فرض به ظاهر معقول را می‌پذیرد که نقاط فضازمان توسط مختصات به‌نحوی بی‌ابهام بازنمایی می‌شوند. به این ترتیب، نقاط A و B را درون حفره در نظر می‌گیریم. تبدیل مختصات φ را به‌نحوی در نظر می‌گیریم که در بیرون از حفره هر نقطه را بر خودش بنگارد؛تبدیل مختصات را به نحوی در نظر می‌گیریم که در بیرون از حفره هر نقطه را بر خودش بنگارد؛ اما با حفظ شرایط تبدیل مختصاتی (یعنی هموار‌بودن و وارون هموارداشتن)، در مرز حفره به‌نحوی تغییر کند که نقطهٔ A را بر B بنگارد: $\varphi(A) = B$. می‌توان نشان داد که معادلهٔ میدان اینشتین، در این وضعیت، تحت شرایط مرزی داده‌شده، دست‌کم دو جواب نایکسان دارد (Rovelli, 2008: 66-68; Johns, 2019: 12-14)؛ اما معادلهٔ اینشتین یک (دسته) معادلهٔ دیفرانسیل جزئی است، که تحت شرایط مرزی داده‌شده باید جوابی یکتا داشته باشد. بنابراین، اینشتین نشان می‌دهد که بر خلاف انتظار موجبیّت‌گرایانه، توزیع ماده‌ای خاص بیرون از حفره، میدان گرانشی درون حفره را به‌نحوی یکتا معین نمی‌کند. او نتیجه گرفت که معادلات میدان نباید همورد‌ای عام باشند.

در ۱۹۱۵ بود که اینشتین متوجه شد که فرض به‌ظاهر معقول استدلال حفره پذیرفتنی نیست، زیرا مختصات اهمیت فیزیکی ندارند؛ اما به هر حال، در ۱۹۱۳ همین استدلال مغلوط حفره بود که ایمان راسخ اینشتین را به درستی نظریه‌اش شکل می‌داد. او در ۱۹۱۴ به دوست خود بسو نوشت:

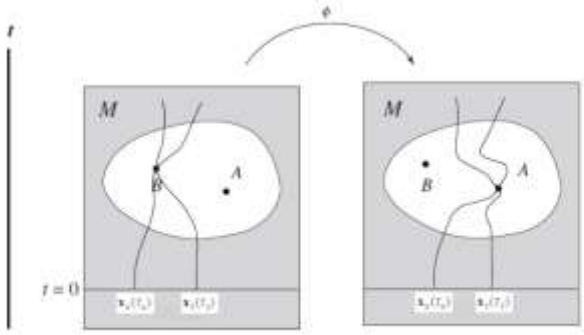
> «اکنون من کاملاً قانع شده‌ام و دیگر هیچ شکی ندارم که کلیّت سیستم درست است، چه مشاهدهٔ کسوف خورشید درست از آب درآید و چه این‌طور نشود»(Gutfreund, 2015: 25).

در اوایل ۱۹۱۴ برنیز(Bernays, Paul)، ریاضیدان، به اینشتین و گروسمان پیشنهاد کرد که معادلات میدان Entwurf را از روش وَردشی بدست آورند. اینشتین و گروسمان موفق شدند که لاگرانژی معادلات Entwurf را بیابند و نتیجه را در مقاله‌ای به چاپ رساندند. به نظر می‌رسد که این باید سبب می‌شد که اینشتین به خطای نظریهٔ Entwurf پی‌بَرَد و مسیر خود را اصلاح کند؛ اما چنین نشد.

در تابستان ۱۹۱۵ تردیدهای اینشتین در خصوص نظریهٔ Entwurf شروع به شکل‌گیری کردند، تا آنکه سرانجام در پائیز ۱۹۱۵ اینشتین تصمیم گرفت که نظریهٔ Entwurf را رها کند و کاوش پیشین خود برای یافتن نظریهٔ همموردای عام را از سر گیرد. سرانجام او دریافته بود که: اولاً نظریهٔ Entwurf نمی‌تواند پیشروی حضیض عطارد را با دقت مطلوب توضیح دهد. ثانیاً برخلاف تصور اولیهٔ او، روش وَردشی به نحو یکتایی به معادلات میدان Entwurf منجر نمی‌شد. ثالثاً این نظریه نمی‌تواند تعهد اینشتین به رویکرد ماخ را به‌تمامه ایفا کند. نکتهٔ جالب این‌که در این زمان اینشتین هنوز به نقص استدلال حفره پی‌نبرده بود.

تلاش جدیدی که اینشتین آغاز کرد، در ماه نوامبر سال ۱۹۱۵ به منتشر کردن چهار مقاله در آکادمی سلطنتی علوم پروس منجر شد. آخرین آن‌ها، منتشر شده در ۲۵نوامبر، دربردارندهٔ معادلات همموردای عام میدان گرانشی بود، که نسبیت عام به شکل امروزی آن محسوب می‌شود. حتی در این زمان همچنان معنای مختصات برای اینشتین روشن نبود و اشکال استدلال حفره نیز برای او شناخته شده نبود. پاسخ فلسفی اینشتین به استدلال حفره، که اکنون با عنوان استدلال نقطه–اتفاق(Point-Coincidence argument) شناخته می‌شود، حدوداً یک‌ماه پس از انتشار معادلات میدان هموردا، در نامه به ارنفست در تاریخ ۲۶ دسامبر ۱۹۱۵ ارائه شد.

استدلال نقطه–اتفاق چنین است: دو ذرهٔ a و b را در فضازمان حفره‌دار در نظر می‌گیریم، که جهان‌خط‌های آن‌ها، $X_a(\tau_a)$ و $X_b(\tau_b)$، در نقطهٔ B تلاقی می‌کنند. جهان‌خط ذرات، در عدم‌حضور نیروهای غیرگرانشی، ژئودزیک‌های میدان گرانشی هستند.



interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69

تبدیل مختصات φ را مانند قبل در نظر می‌گیریم. این‌بار جهان خط‌های تبدیل یافتهٔ ذرات a و b، نه در B، بلکه در $\varphi^{-1}(B)=A$ تلاقی خواهند داشت. در بیرون از حفره جهان‌خط‌ها دقیقاً مشابه قبل خواهند بود؛ اما در درون حفره به‌نحوی تغییر خواهند کرد که نقطهٔ تلاقی آنها بجای B، نقطهٔ A باشد. بنابراین، اگر در صورت‌بندی استدلال حفره به‌جای عبارت «نقطه»، که با مختصات معین می‌شود، عبارت «محل تلاقی» دو جهان‌خط را جایگزین کنیم، معادلهٔ میدان جوابی یکتا خواهد داشت؛ برای شرایط مرزی مشخص، جهان‌خط‌های ذرات به‌طور یکتا توسط میدان گرانشی معیّن می‌شوند. بنابراین، ناموجبیّت نامطلوب بروز نخواهد کرد. با در نظرگرفتن اتفاق‌ها، به‌جای نقاط، استدلال حفره مسدود می‌شود(Rovelli, 2004: 68-71; Johns, 2019).

اما اینشتین چطور به این راه‌حل دست یافت؟ برای فهمیدن پاسخ، باید سوی فلسفی داستان تولد نسبیت عام را مد نظر قرار دهیم.

۳. موریتس شلیک و معنای مختصات

موریتس شلیک(Schlick, Moritz)، فیلسوف آلمانی، بنیان‌گذار و یکی از رهبران حلقهٔ وینِ تجربه‌گرایان منطقی بود. او دکترای فیزیک خود را در برلین و زیر نظر ماکس پلانک اخذ کرد. پس از اتمام تحصیلات خود در رشتهٔ فیزیک، در زوریخ روان‌شناسی و فلسفه خواند. بعدها به عنوان جانشین بولتزمان و ماخ، به سمت استادی فلسفهٔ علم در دانشگاه وین برگزیده شد. شلیک از نزدیک کارهای اینشتین را دنبال می‌کرد. در این دوران او هنوز به کسوت تجربه‌گرای منطقی در نیامده بود و تا ۱۹۱۷ و چندی پس از آن نیز خود را واقع‌گرا می‌نامید.

او در ۱۹۱۵ مقاله‌ای در باب استلزام‌های فلسفی نظریهٔ نسبیت منتشر کرد. اینشتین مقالهٔ او را خواند و بسیار تحسین کرد. در ۱۹۱۷ شلیک کتاب خود *فضا و زمان در فیزیک معاصر: مقدمه ای بر نظریهٔ نسبیت و گرانش* را منتشر کرد. اینشتین به او نوشت:

> من چندین‌بار کتاب کوچک شما را مرور کردم و از گفتمان به‌شدت واضح [آن] محظوظ شدم. همچنین بخش نهایی «ارتباطات با فلسفه» بسیار عالی است(Gutfreund, 2017: 108).

شلیک تعبیرکردن نسبیت عام را حتی قبل از آنکه اینشتین به نتایج نهایی خود برسد شروع کرده بود و تحلیل او هنوز به نظریهٔ Entwurf ارجاع داشت. او متاثر از مطالعات فیزیولوژی و روان‌شناختی خود مختصات را فاقد معنای فیزیکی و غیرواقعی می‌دانست. او اتفاق‌های فضازمان را واقعی می‌دانست، که مستقل از انتخاب مختصات وجود داشتند.

interaction between sciences and philosophy

تاریخ‌دانان نسبیت عام در مورد اینکه اینشتین چطور توانست با ارائهٔ استدلال نقطه–اتفاق، از استدلال حفره بگریزد مدتی طولانی حدسیه‌پردازی کرده‌اند. اخیراً آشکارشده است که تاملات شلیک در باب نقش مختصات در فیزیک و مباحثات او با اینشتین در این خصوص نقشی کلیدی داشته‌اند. گاتفراند نحوهٔ تاثیر شلیک بر اینشتین را چنین توصیف می‌کند:

> به‌لطف تحلیل شلیک اینشتین می‌توانست مسائل خود را در آینه‌ای فلسفی ببیند و این به او کمک می‌کرد که بتواند به مسائل فیزیکی خود، به طور خاص ریزه‌کاری‌های استدلال حفره، در متن فلسفی گسترده‌تری، در کار شلیک، بپردازد. ... پس از تبادل نظر با شلیک، اینشتین متوجه شد که تنها اتفاق‌های فضازمانی، و نه مختصات، اهمیت دارند(Gutfreund, 2017: 107).

اِنگلر، فیلسوف و پژوهش‌گر آراء شلیک، نخستین کسی است که تاثیر شلیک را در این خصوص آشکار کرد(Oberdan, 2017; Engler, 2009). البته اینشتین از کرچمان (Kretschmann, Erik) نیز متاثر بوده است. جووانلی معتقد است که منشاء شکل‌گیری استدلال نقطه–اتفاق اینشتین، در واقع مقالهٔ ۱۹۱۵ کرچمان بوده است. کرچمان، در ۱۹۱۵، اولین کسی بوده است که از اصطلاح «نقطه–اتفاق» استفاده کرده است و کمی پس از انتشار مقالهٔ ۱۹۱۵ او است که اینشتین شروع به استعمال این اصطلاح در نامه‌نگاری‌های خود با ارنفست، بسو و لورنتس می‌کند(Giovanelli, 2013).

٤. کرچمان و محتوای فیزیکی اصل هموردایی عام

اریک کرچمان، فیزیکدان آلمانی، زیر نظر ماکس پلانک و هاینریش روبنس(Rubens, Heinrich) در ۱۹۱۴ موفق به اخذ مدرک دکتری از دانشگاه برلین گردید. پس از آن معلم فیزیک دبیرستان و سپس استاد فیزیک نظری دانشگاه کونیگسبرگ(Konigsberg) و هاله–ویتنبرگه(Halle-Wittenberge) شد. او در ۱۹۱۷ مقاله‌ای منتشر کرد که در آن تعبیر اینشتین از اصل هموردایی عام را به چالش کشید. او استدلال کرد که اصل هموردایی عام فاقد محتوای فیزیکی و تنها استلزامی ریاضی است، زیرا با ترفندی ریاضی می‌توان هر نظریهٔ فضازمانی را به صورت هموردای عام بازنویسی کرد.

اینشتین در ۱۹۱۸ به نقد کرچمان واکنش نشان داد. او با کرچمان موافق بود که تقاضای هموردایی عام، تقاضایی در مورد واقعیت فیزیکی نیست و تنها استلزامی درخصوص فرمول‌بندی ریاضی نظریه است. اصل هموردایی عام راهنمای اینشتین در تعمیم نسبیت خاص به نسبیت عام بود. بنابراین، اکنون پرسش پیشِ روی او این بود که با تهی‌شدن این اصل از محتوای فیزیکی،

interaction between sciences and philosophy

چه چیزی نسبیت عام را از دیگر نظریات گرانش متمایز می‌کرد؟ اینشتین شهوداً متوجه این نکته بود که نسبیت عام از سایر نظریه‌های رقیب به‌نحوی متمایز است. اگر اصل هموردایی عام مسبب این تمایز نبود، پس چه چیزی این تمایز را ایجاد کرده بود؟ در پاسخ به این پرسش اینشتین به «سادگی» نظریهٔ نسبیت عام متوسل شد؛ از دید او نسبیت عام از هر نظریهٔ گرانش دیگر ساده‌تر بود(Norton, 1995). در این رویکرد «سادگی» معنی خاصی دارد و ذیل رویکردی هندسی به نظریهٔ فیزیکی تعریف می‌شود. میسنر، تورن و ویلر تاکید می‌کنند که رویکرد قرن بیستمی به مفهوم سادگی، بر خلاف رویکرد قرن نوزدهمی به آن، مبتنی بر فرمولبندی هندسی و مستقل از مختصات نظریه است. در مختصات گالیله‌ای، به‌وضوح مکانیک نیوتنی ساده‌تر است، زیرا قوانین نیوتن و معادلهٔ پواسون با کمترین تعداد جملات و به‌سادگی بیان می‌شوند؛ در حالی که معادلهٔ میدان اینشتین در مختصات گالیله‌ای بسیار پیچیده به‌نظر می‌رسد. همچنین، «سادگی» در این رویکرد، به‌طور نسبی تعریف می‌شود، یعنی صورت‌بندی هموردای عام نظریهٔ (الف) می‌تواند نسبت به صورت‌بندی هموردای عام نظریهٔ (ب) ساده‌تر باشد(Misner, Thorne and Wheller, 1973: 302-303).

اینشتین در درس‌های پرینستون که در ۱۹۲۱ ارائه کرد، دوباره به موضع اولیهٔ خود درخصوص اهمیت و محتوای فیزیکی اصل هموردایی عام بازگشت. دلیل این بازگشت او چیست؟ گاتفراند معتقد است که اینشتین این اصل را از لحاظ تبیین‌گری بسیار قدرتمند یافته است، لذا کنار گذاشتن کامل آن را نامطلوب تلقی کرده است. نکته این است که در زمان او ابزارهای ریاضی نسبیت عام به اندازهٔ کافی توسعه‌یافته نبودند که محتوای واقعی اصل هموردایی عام را مشخص سازند. به گمان ما، بازگشت اینشتین به اصل هموردایی عام ممکن است نشان‌دهندهٔ این باشد که علی‌رغم اینکه او توصیف ریاضی کاملی از ایده‌ای که در ذهن داشته در اختیار نداشته است، اما تاحدودی در ۱۹۲۱ به آن نزدیک شده است. موضع‌گیری او در خصوص سادگی نسبیت عام شاهدی بر این مدعی است. پیشرفت مهم بعدی درخصوص پاسخ به پرسش از وجه تمایز نسبیت عام از نظریات رقیب، با عنوان برنامهٔ اندرسون–فریدمن(Anderson-Friedman program) شناخته می‌شود.

۵. برنامهٔ اندرسون– فریدمن

در سال‌های اولیهٔ پس از ارائهٔ نسبیت عام، ابزارهای ریاضی به‌اندازهٔ کافی توسعه‌یافته نبودند که محتوای واقعی اصل هموردایی عام را بتوان به‌وسیلهٔ آنها بیان کرد. چیدمان ریاضی مطلوب چند دههٔ بعد یافت شد. اندرسون، فیزیک‌دان، در کتاب خود *اصول فیزیک نسبیت*، که در سال ۱۹۶۷ منتشر شد، و پس از آن مایکل فریدمن، فیلسوف، در کتاب خود *بنیادهای نظریه‌های فضازمان*، که

interaction between sciences and philosophy

در ۱۹۸۳ منتشر شد، توانستند میان دو نوع از اشیاء هندسی، که در صورت‌بندی نظریهٔ فضازمانی دخیل هستند، تمایز بگذارند: اشیاء مطلق(Absolute) و اشیاء دینامیکی. بدین‌ترتیب، ساختارهای فرامختصاتی نظریه قابل‌شناسایی شدند و معنی «همووردایی» و «ناوردایی»(invariance) و تفاوت آنها برای اولین‌بار دقیق شد[۸].

منظور از هندسهٔ پیشین(prior)، جنبه‌ای از هندسهٔ فضازمان است که با تغییر توزیع چشمه‌های گرانشی تغییر نکند. به بیان دیگر، هندسهٔ پیشین متاثر از ماده و دینامیکی نیست[۹]. اندرسون و فریدمن هندسهٔ پیشین را اشیاء مطلق و میدان‌های دینامیک را اشیاء دینامیکی می‌نامند. تقاضای فقدان هندسهٔ پیشین، بخشی غیربدیهی از تقاضای همووردایی عام است.

> در ۱۹۱۷ ریاضیات هنوز آنقدر به اندازهٔ کافی پالاییده نشده بود که بتواند تقاضای فقدان هندسهٔ پیشین را از تقاضای [ارائهٔ] صورت‌بندیِ هندسیِ مستقل از مختصات نظریهٔ فیزیکی تمییز دهد. اینشتین هر دو را با یک عبارت بیان می‌کرده است: «همووردایی عام». در واقع تقاضای فقدان هندسهٔ پیشین نسبیت عام را سبب شد؛ اما چنان ناشناس [این کار را] کرد، [که] با همووردایی عام اشتباه گرفته شد [و] بدین‌ترتیب نیم‌قرن سرگشتگی را نیز به‌دنبال آورد(Misner, Thorne and Wheeler, 1973: 431).

تمایز میان اشیاء مطلق و اشیاء دینامیکی اساس برنامهٔ اندرسون–فریدمن است. اشیاء مطلق ناورداهای نظریه را می‌سازند. به بیان فنی، دیفئومورفیزم‌هایی که اشیاء مطلق را ناوردا باقی می‌گذارند، تشکیل گروهی می‌دهند، که آن را گروه ناوردایی می‌نامیم. دیفئومورفیزیم نگاشتی هموار و وارون‌پذیر است، از خمینه‌ای به خمینهٔ دیگر، که وارون آن نیز هموار باشد. گروه ناوردایی زیرگروهی از گروه همووردایی است. گروه همووردایی خود زیرگروهی از گروه پیمانه(Gauge group) است، که اعضای آن دیفئومورفیزم‌هایی هستند که تحت آن‌ها جوابی از معادلهٔ میدان به جوابی از معادلهٔ میدان نگاشته می‌شود. دست‌آخر،گروه پیمانه مجموعهٔ دیفئومورفیزم‌هایی از خمینه به خودش است، که تحت عمل ترکیب توابع تشکیل گروهی را می‌دهند. اثر گروه همووردایی بر میدان‌ها رده‌های هم‌ارزی‌ای را شکل می‌دهد. اکنون می‌توان شیء مطلق را رسماً تعریف کرد: شیء مطلق میدانی است که تنها یک ردهٔ هم‌ارزی دارد(Straumann, 2013: 98-101; Friedman, 1983: 56-57). شهوداً اشیاء مطلق اشیائی هستند که از مدلی از نظریه به مدل دیگر تغییر نمی‌کنند.

با بهره‌گیری از مفاهیم اخیر، نقد کرچمان بیان می‌دارد که اصل همووردایی عام فاقد محتوای فیزیکی است، زیرا همواره می‌توان به‌واسطهٔ بازصورت‌بندی مناسبی از نظریه، گروه همووردایی آن

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69

را بزرگ‌تر کرد. در عین حال، برنامهٔ اندرسون–فریدمن این امکان را برای ما فراهم می‌آورد که میان مفاهیم همووردایی و ناووردایی تمایز قائل شویم: یک نظریه ممکن است همووردای عام باشد، اما ناووردای عام نباشد. اصلی که برای نسبیت عام اساسی است، نه اصل همووردایی عام، که «اصل ناووردایی عام» است و این همان چیزی است که به‌درستی می‌تواند اصل نسبیتِ تعمیم‌یافته، یعنی همان چیزی که اینشتین در گذار از نسبیت خاص به نسبیت عام مد نظر داشت، تلقی گردد.

اصل ناووردایی عام. گروه ناووردایی نظریه باید شامل گروهی باشد که همهٔ تبدیلات مختصات هموار دلخواه را در بر گیرد.

این واقعیت که نسبیت عام مستقل از مختصات است و این واقعیت که هر نظریهٔ فیزیکی به‌نحو همووردای عام قابل بازنویسی است، هر دو درست هستند. در نتیجه، اصل همووردایی عام خالی از محتوای فیزیکی است؛ اما درخصوص نسبیت عام نکتهٔ ویژه این واقعیت است که فاقد هندسهٔ پیشین است(Pooley, 2010)[۱۰]. بنابراین، علی‌رغم اینکه نقد کرچمان وارد است و حق با اوست، در عین حال، به‌نظر می‌رسد که اینشتین نیز در انتظاری که از این اصل داشته است، محق بوده است. پی بردن به این نکتهٔ مهم و صورت‌بندی دقیق آن، در قالب برنامهٔ اندرسون–فریدمن، ثمرهٔ تاملات فلسفی درخصوص اهمیت و معنای مختصات و اصل همووردایی عام است.

٦. استدلال حفره برمی‌خیزد!

در حدود ۶۰ الی ۷۰ سال پس از ارائهٔ نسبیت عام به‌طور گسترده از استدلال حفره در ادبیات فیزیک و فلسفهٔ فیزیک بحثی نشد[۱۱]. این وضعیت در دههٔ ۸۰ میلادی به کلی تغییر کرد. جان اِرمان و جان نورتن در مقاله بسیار تاثیرگذارشان با عنوان *جوهرگرایی فضازمان به چه قیمتی؟* داستان حفره‌ای، که در ۱۹۸۷ منتشر شد، استدلال حفره را بازسازی کردند. استدلال آن‌ها این است که ذیل صورت‌بندی همووردای عام نسبیت عام، نوع مشخصی از جوهرگرایی، موسوم به جوهرگرایی خمینه‌ای(Manifold substantivalism)، به نوعی از ناموجبیّت نامطلوب منجر خواهد شد. بنابراین، جوهرگرایی درخصوص خمینهٔ فضازمان پذیرفتنی نیست. جوهرگرایی خمینه‌ای به منزلهٔ آن است که نقاط فضازمان، مستقل از رویدادهایی که در آن نقاط رخ می‌دهند، وجود دارند و به‌نحو هستی‌شناسانه نسبت به آن‌ها تقدم دارند. بنابراین، استدلال آن‌ها این است که اگر معادلات میدانْ هموردای عام باشند و اگر فرض کنیم که نقاط فضازمان مستقل از اتفاق‌ها وجود دارند، آنگاه بروز ناموجبیّت اجتناب‌ناپذیر است.

آنچه که ارمان و نورتن به‌عنوان اصل همووردایی عام در نظر گرفتند، چیزی است که عموماً با عنوان ناووردایی دیفئومورفیزم شناخته می‌شود. مدلی برای نظریهٔ فضازمانی عبارتست از چندتایی

interaction between sciences and philosophy

$(M,O_1,\cdots,O_n)$، که در آن M خمینهٔ توصیف‌گر فضازمان است و O_iها میدان‌های تانسوری تعریف‌شده بر آن هستند. گوییم نظریه تحت دیفئومورفیزم ناوردا است، اگر و تنها اگر برای هر دیفئومورفیزم φ، اگر $(M,O_1,\cdots,O_n)$ مدلی برای نظریه باشد، آنگاه $(M,O^*_1,\cdots,O^*_n)$ نیز مدلی برای آن باشد، که در اینجا O^*_iها تبدیل‌یافتهٔ O_iها، تحت نگاشت φ هستند.

ارمان و نورتن نتیجه می‌گیرند که اگر ناموجبیّت را نامطلوب بدانیم و بخواهیم از بروز آن جلوگیری کنیم، آنگاه باید این فرض را که نقاط فضازمان مستقل از اتفاق‌ها موجود هستند، باطل بدانیم. آن‌ها معتقدند که می‌توان با پذیرش اصلی که آن را اصل هم‌ارزی لایب‌نیتس نامیدند و نشان اختصاصی نسبت‌گرایی(Relationalism) دانستند[۱۲]، از بروز ناموجبیّت اجتناب کرد.

> **اصل هم‌ارزی لایب‌نیتس.** اگر دیفئومورفیزم φ تعریف‌شده بر فضازمان M باشد و اگر $(M,O_1,\cdots,O_n)$ و $(M,O^*_1,\cdots,O^*_n)$ مدل‌های نسبیت عام باشند، آنگاه آن‌ها اوضاع امور فیزیکی یکسانی را بازنمایی می‌کنند.

به عقیدهٔ ارمان و نورتن تنها راه اجتناب از بروز ناموجبیّت نامطلوب آن است که اوضاع‌امور توصیف‌شده توسط مدل‌هایی که جواب‌های معادلات میدان هستند، یکسان باشند. در این‌صورت دیگر آنها به دو وضعیت فیزیکی متفاوت ارجاع نخواهند داشت. بنابراین، چنین نخواهد بود که شرایط مرزی یکسان سرانجام به دو وضعیت فیزیکی متفاوت بیانجامد.

ارمان معتقد است که باید میان دو اصل تمایز گذاشت: اصل همموردایی عام صرفاً صوری و چیزی که او اصل همموردایی عام ذاتی می‌نامد. صورت‌بندی‌های همموردای عام نظریات گرانش رقیب نسبیت عام، تنها اصل همموردایی عام صرفاً صوری را برآورده می‌کنند؛ حال آنکه نسبیت عام هر دو اصل را برآورده می‌کند. بنابراین، در این رویکرد، اصل همموردایی عام ذاتی است که نسبیت عام را از رقبایش متمایز می‌کند.

> **اصل همموردایی عام ذاتی (ارمان).** نظریه همموردای عام است، اگر وتنها اگر (۱) برای هر دیفئومورفیزم φ، اگر $(M,O_1,\cdots,O_n)$ مدلی برای نظریه باشد، آنگاه $(M,O^*_1,\cdots,O^*_n)$ نیز مدلی برای آن باشد، و (۲) دو مدل $(M,O_1,\cdots,O_n)$ و $(M,O^*_1,\cdots,O^*_n)$اوضاع امور فیزیکی یکسانی را بازنمایی کنند(Earman; Norton, 1987; Earman, 2006a; 2006b).

interaction between sciences and philosophy

این همان چیزی است که در کتب درسی نسبیت عام متاخر به عنوان اصل همووردایی عام شناخته می‌شود[۱۳]. این مطلب نقش مباحثات پیرامون استدلال حفره را در ایضاح و تدقیق مفاهیم و اصول نسبیت عام آشکار می‌سازد. کارلیپ می‌نویسد:

> ... به بیان فنی، اظهار می‌شود که دو خمینهٔ دیفئومورف یکسان دانسته می‌شوند؛ اما شهود فیزیکی، که گاه اصل همووردایی عام نامیده می‌شود، ساده است: مختصات برچسب‌های انسان‌ساخته برای نقاط خمینهٔ فضازمانی هستند و جهان اهمیت نمی‌دهد که ما چه برچسبی را به‌کار می‌گیریم(Carlip, 2019: 26).

«شهودی» که کارلیپ اکنون آن را «ساده» می‌داند، حاصل بحث‌های فلسفی پیرامون اهمیت و معنای مختصات و استدلال حفره است که از زمان تدوین نسبیت عام تا به حال، یعنی بیش از صد سال، ادامه یافته‌اند.

مقالهٔ ارمان و نورتن پیش‌زمینه‌های تاریخی شناخته‌شده‌ای دارد: جان استاچل، در ۱۹۸۰ بر تاثیر مفهومیِ ماندگارِ استدلال حفره تاکید کرده بود. همچنین نورتن نیز پیش از ارائهٔ مقالهٔ مشترکش با ارمان، حین پژوهش تاریخی در مورد دفترچهٔ یادداشت زوریخ، در ۱۹۸۴، به اهمیت استدلال حفره پی برده بود. اما پیش‌زمینه‌های فلسفی کمتر شناخته‌شده‌ای نیز برای مقالهٔ ارمان و نورتن وجود دارد: پژوهش‌های ارمان در خصوص لایب‌نیتس، در دههٔ ۷۰ و ۸۰ میلادی، به‌نحو معناداری با ظهور استدلال حفره به بیان جدید آن مرتبط است. همچنین ریشهٔ بیان جدید استدلال حفره به استدلالی از هووارد استاین(Stein, Howard) باز می‌گردد. او در ۱۹۷۴، استدلال کرد که در فضازمانی لایب‌نیتسی به همراه اوتومورفیزم تعریف‌شده بر آن، به معنای مشخصی، آینده توسط گذشته متعین نمی‌شود، که به منزلهٔ بروز نوعی ناموجبیّت نامطلوب است(Stein, 1977: 5-6). استاین نخستین کسی است که استدلال حفره به صورت جدید آن را ارائه کرده است(Weatherall, 2020).

وجود این پیشینه شاهدی است بر اهمیت و تاثیرگذاری پژوهش‌های فلسفی بر فهم عمیق‌تر و تدقیق مفاهیم فیزیکی. علاوه‌براین، بحث‌ها بر سر استدلال حفره و معنای همووردایی همچنان ادامه دارد. ودرال استدلال کرده است که استدلال حفره مبتنی بر کاربرد گمراه‌کنندهٔ صورت‌بندی ریاضی است و توجه به برخی ملاحظات نظریهٔ رسته‌ای(Category theoretical)، مغالطه‌آمیز بودن آن را آشکار خواهد کرد(Weatherall, 2016). در مقابل رابرتز استدلال کرده است که ودرال رویکرد خاصی را درخصوص کاربرد ریاضیات در فیزیک درپیش گرفته است که سبب می‌شود استدلال او نوعی مصادره‌به‌مطلوب باشد(Roberts, 2020). لیدیمن و پرسنل نشان داده‌اند که نظریهٔ نوع هوموتوپی(Homotopy type theory) راه‌حلی طبیعی برای معضل استدلال حفره

interaction between sciences and philosophy

ارائه می‌کند(Ladyman; Presnell, 2020). در این رویکرد به‌واسطهٔ نظریهٔ نوع هوموتوپی تحلیل جدیدی از مفهوم این‌همانی نقاط به‌دست می‌آید، که استدلال حفره را مسدود می‌کند. سندرز نیز تحلیلی مبتنی بر نظریهٔ رسته‌ها از مفهوم هموردایی عام ارائه کرده است(Sanders,2020). پیگیری فعالانهٔ چنین پژوهش‌هایی دست‌کم ما را از یک چیز مطمئن می‌سازد: همچنان می‌توان به کمک ابزارهای ریاضی قدرت‌مندتر، همچون نظریهٔ رسته‌ها، مفاهیم فیزیکی را دقیق‌تر ساخت؛ همچنان می‌توان در پی فهم عمیق‌تری از مفاهیم فیزیکی بود؛ ارتباط نسبیت عام و فلسفه هنوز به نقطهٔ پایان نرسیده است، اگر اساساً چنین پایانی وجود داشته باشد!

۷. فیزیک و فلسفه

چنان‌که آمد، سه اعتراض عمده علیه مفید دانستن فلسفه برای علم وجود دارد: اعلام مرگ فلسفه، استدلال یا چالش تاریخی–ندانم‌گرایانه و استدلال «جداکردن حساب». آنچه که از ارتباط نسبیت عام و فلسفه آموختیم، برای پاسخ‌دادن به هر سه اعتراض کافی است.

۷–۱. پاسخی به اعتراض «مرگ فلسفه»

واینبرگ استدلال کرده است که فلسفه بر فیزیک بی‌تاثیر است؛ فلسفه دیگر نمی‌تواند به فیزیک جهت بدهد؛ تاثیر فلسفه بر فیزیک در گذشته منفی بوده است و در اندک مواردی هم که تاثیری مثبت داشته است، تاثیر آن سلبی بوده است، یعنی فیزیک را از فلسفه‌ای دیگر رها کرده است. او غلبهٔ فلسفهٔ پوزیتیویستی را بر علم، علی‌رغم برخی ثمراتش درمجموع آسیب‌زا ارزیابی می‌کند. نمونهٔ دیگر تاثیر منفی فلسفه بر علم را نیز برخی رویکردهای ضدعلم می‌داند(Weinberg, 1994: ch.7). هاوکینگ نیز اعلام می‌کند که فلسفه مرده است و پرسش‌های اساسی آن اکنون در اختیار علم قرار گرفته‌اند و از این پس علم به تنهایی متولی یافتن پاسخی برای آن‌ها است(Hawking and Mlodinow, 2010: 5). چنین اظهار نظرهایی از آن جهت اهمیت دارند که نه فقط نظر واینبرگ یا هاوکینگ، بلکه نظر بسیاری از فیزیک‌دانان مخالف فلسفه هستند. «اعلام مرگ فلسفه» اعتراضی است که بیان می‌دارد فلسفه به پایان راه خود رسیده است و چیز جدیدی به فیزیک نخواهد آموخت. آیا واقعاً چنین است؟ موردکاوی این مقاله آشکار می‌کند که چنین نیست. فلسفه از آغاز شکل‌گیری نسبیت عام تاکنون در بسط و توسعهٔ مفهومی آن مشارکت داشته است و این تاثیرگذاری همچنان ادامه دارد. فلسفه نمرده است، دست‌کم هنوز نه! و همچنان می‌توان از آن آموخت؛ اما چرا چنین است؟

تحلیل مفهومی دقیق و یافتن اتصالات مفهومی سست، حساسیت و توجه به تناقض‌ها، تناقض‌نماها، سردرگمی‌ها، ابهام‌ها و اشتراک‌های لفظی، ارزیابی اعتبار و صحت استدلال‌ها، فراهم آوردن ایده‌های بدیع ریشه‌ای و به‌دست‌دادن تبیین‌های متحد نشان اختصاصی فلسفه هستند. با

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69

این حال، موارد نامبرده تنها ابزارهایی برای فلسفه نیستند؛ آن‌ها ابزارهایی هستند برای پرداختن به پرسش‌های خاصی که می‌توانند هر خاستگاهی داشته باشند، از جمله پرسش‌هایی برخاسته از علم (Rovelli, 2018: 484; Huggett, 2010 :30; Schlosshauer, 2011: 250, 252, 256).

فلسفه‌ورزی سبب تدقیق و فهم مفاهیم اساسی «هموردایی» و «ناوردایی» شده است. فکر فلسفی اینشتین بود که استدلال حفره را ساخت و نهایتاً اشتباه آن را یافت. تاملات فلسفی او و هم‌کارانش، شلیک و کرچمان، به دریافتن معنی مختصات منجر شد. تحلیل مفهومی و تلاش برای تدقیق مفاهیم هموردایی و ناوردایی، که توسط اندرسون، فریدمن، استاین و ارمان و نورتن انجام شد، نوعی از فلسفه‌ورزی در فیزیک محسوب می‌شوند. فلسفه از آن جهت که ابزارهایی برای پرداختن به پرسش‌های بنیادی در اختیار دارد، در فیزیک کارامد است. توجه به این مطلب همچنین مشخص می‌کند که کاربردپذیری فلسفه در فیزیک پایانی ندارد[۱۴].

واینبرگ همان‌قدر که ریاضیات را در فیزیک کاربردپذیر می‌داند، فلسفه را کاربردناپذیر می‌داند:

> به معمایی که ویگنر آن را «کاربردپذیری نامعقول» ریاضیات می‌نامد، ... پرداختم؛ اکنون می‌خواهم پدیدهٔ به‌همان میزان معماگونه‌ای را طرح کنم: کاربردناپذیری غیرمعقول فلسفه(Weinberg, 1994: 169).

اما بسیاری از ابزارهای فلسفی که به آن‌ها اشاره کردیم، در واقع ابزارهای منطقی و ریاضی هستند. فیلسوف نیز برای نیل به اهدافش از ابزارهای ریاضی بهره می‌برد. موردکاوی این مقاله نقش پررنگ ابزارهای هندسی و نظریه گروهی (جبری) را آشکار کرد. همچنین اشاره شد که رویکردهای متاخر از ابزارهای نظریهٔ رسته‌ای و نظریهٔ نوع هوموتوپی بهره می‌برند. دلیل این مطلب آن است که به سختی می‌توان در پرداختن به پرسش‌های بنیادی، فیزیک، ریاضی و فلسفه را از هم تفکیک کرد. با این توضیح، واینبرگ یا هم‌فکر او با چه چیز فلسفه‌ورزی مخالف است؟ بعید است که آن‌ها با ایضاح و تدقیق مفهومی با بهره‌گیری از ریاضیات مخالف باشند. نکته این است که واینبرگ یا هم‌فکر او فلسفه‌ورزی را با پایبندی متعصبانه به موضع فلسفی خاصی، به اشتباه، یکسان می‌پندارد. در زیربخش بعد به این مطلب خواهیم پرداخت.

ممکن است اعتراض شود که در این مقام، فلسفه کاربردپذیری ویژه‌ای برای فیزیک ندارد. آنچه که با عنوان نشان اختصاصی فلسفه از آن یاد شد، یعنی ابزارهای فلسفی مذکور، خاص فلسفه نیستند و در واقع، ابزارهای عامی هستند که هر شخصی با بهره‌ای از عقل، تا درجه‌ای از آن‌ها بهره‌مند است؛ اما این مانند آن است که بگوییم قضاوت نمی‌تواند حرفه باشد، چون هر شخصی با بهره‌ای از عقل، تا درجه‌ای قدرت قضاوت‌گری دارد! این درست است که ابزارهای فلسفی که از آن‌ها نام بردیم، ابزارهایی هستند که هر شخص عاقل، از جمله فیزیک‌دان، از آن‌ها تاحدودی،

interaction between science and philosophy

حتی به صورت ناآگاهانه یا نیمه‌آگاهانه بهره می‌برد؛ اما این به معنی آن نیست که فلسفهٔ فیزیک تخصص ویژه‌ای نیست. گرچه هر کسی می‌تواند از ابزاری استفاده کند؛ اما ابزارسازی، انتخاب ابزار مناسب و به‌کاربردن هنرمندانهٔ ابزار مهارت ویژه‌ای است.

۷-۲. پاسخی به استدلال و چالش تاریخی-ندانم‌گرایانه

استدلال یا چالش تاریخی-ندانم‌گرایانه بیان می‌دارد هیچ شاهد تاریخی مبنی بر مفیدبودن فلسفه برای علم وجود ندارد، یا دست‌کم چنین شاهدی شناخته‌شده نیست. اگر پس از گذشت بیش از دو هزار و پانصد سال از تاریخ علم و فلسفه چنین شاهدی در اختیار نداریم، احتمالاً بهترین تبیین آن است که فلسفه برای علم مفید نیست! اگر مدافع مفیدبودن فلسفه برای علم باوری غیر از این دارد، این بر عهدهٔ او است که چنین نمونه‌هایی را ارائه کند. موردکاوی این مقاله پاسخی به این تحدّی است. فلسفه‌ورزی سبب تدقیق و فهم مفاهیم اساسی «هموردایی» و «ناوردایی» شده است، که مفاهیم اساسی نسبیت عام هستند و چنان‌که آمد، به کمک همین مفاهیم است که می‌توانیم نسبیت عام را از سایر نظریات رقیبش تمییز دهیم. علاوه‌براین، بر نقش‌آفرینی کلیدی فلاسفه‌ای همچون شلیک، فریدمن، استاین، ارمان و نورتن و بسیاری دیگر نیز واقف شدیم[۱۵]. بنابراین، بر خلاف فرض چالش تاریخی-ندانم‌گرایانه، تاریخ صحنهٔ تعامل سازندهٔ فیزیک‌دانان و فلاسفه بوده است.

شواهد تاریخی روشنی از تاثیر مثبت فلسفه بر بسط مفاهیم نسبیت عام و نقش‌آفرینی انکارناپذیر برخی فلاسفه در تکامل این نظریه وجود دارد؛ اما با شواهد تاریخی منفی‌ای که واینبرگ ذکر می‌کند چه باید کرد؟ درخصوص برخی تاثیرات مخرب فلسفهٔ مکانیکی (Weinberg, 1994: 169-172; de Haro, 2019: 4) یا فلسفهٔ پوزیتیویستی (Weinberg, 1994: 174-184) یا نسبی‌گرایی در فلسفهٔ علم(Weinberg, 1994: 184-190) چه می‌توان گفت؟ چنان‌که آمد، واینبرگ یا هم‌فکر او فلسفه‌ورزی را با پایبندی متعصبانه به موضع فلسفی خاصی، به اشتباه، یکسان می‌پندارد(Rovelli, 2018: 485). اولاً خود واینبرگ نیز به این مطلب اذعان دارد که حتی مواضع فلسفی نامبرده نیز اثرات مثبتی بر علم داشته‌اند. ثانیاً ادعای مدافع مفید دانستن فلسفه برای علم این نیست که موضع فلسفی خاصی، مثلاً پوزیتیویسم منطقی، در مجموع، بیشتر به‌نحو مثبتی بر فیزیک تاثیرگذار است تا منفی. ادعا این است که فلسفه، در معنی عام، یا فلسفه‌ورزی، به منزلهٔ به‌کارگیریِ تخصصیِ ابزارهایی برای نظریه‌پردازی و فهم، برای فیزیک و فیزیک‌دان مفید است.

> علم مکرراً فهم خود را از خود، درخصوص اهداف، روش‌ها و ابزارهایش بازتعریف کرده است. این انعطاف‌پذیری نقش مهمی در موفقیت علم ایفا کرده است. ... علم پروژه‌ای با روش‌شناسی تغییرناپذیر، اهداف دقیقاً تعیین‌شده، یا ساختار مفهومی

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69

> صلب نیست. بلکه تلاش پایان‌ناپذیر ما برای فهم بهتر طبیعت است. [علم] در مسیر توسعهٔ خود مکرراً قوانین و مفروضات روش‌شناسانهٔ خود را نقض می‌کند. ... این درهم‌تابیدگی آموختن و تغییر مفهومی، این انعطاف‌پذیری و این تحول روش‌شناسی و اهداف، در گفت‌وگوی متقابل علم کاربردی و تاملات فلسفی، به‌طور تاریخی توسعه یافته است. این دلیل دیگری است که چرا علوم تا این‌حد از تاملات فلسفی متاثر بوده‌اند. نگرش دانشمندان، بخواهند یا نخواهند، آبستن از فلسفه است. و این چنین به ارسطو بازمی‌گردیم: «فلسفه راهنمایی فراهم می‌کند که پژوهش چطور باید انجام شود». نه به این دلیل که فلسفه می‌تواند کلام آخر در خصوص روش‌شناسی صحیح علم را ارائه کند، برخلاف نظر واینبرگ و هاوکینگ. بلکه به این دلیل که فلاسفه ابزارهای مفهومی لازم برای پرداختن به معضلات ناشی از این تغییرات مفهومی پیوسته را درا ختیار دارند(Rovelli, 2018: 485-486).

ادعا این نیست که فلسفه کلام‌آخر را درخصوص فیزیک‌ورزی ارائه می‌کند، بلکه ادعا این است که فلسفه می‌تواند فیزیک‌ورزی را توصیف کند و چگونگی آن را توضیح دهد. این تحلیل فلسفی آینه‌ای است که فیزیک‌دان می‌تواند خود را در آن ببیند. واینبرگ از بخشی از این فرایند با عنوان اثر سلبی فلسفه یاد می‌کند. به عقیدهٔ او فلسفه گاهی از طریق رهاکردن فیزیک از فلسفه به آن خدمت کرده است(Weinberg, 1994: 166)؛ اما این همهٔ ماجرا نیست! این اثر سلبی محصول جانبی به‌کاربردن ابزارهای فلسفی در فیزیک است، که اثرات ایجابی آن همان ایضاح مفهومی، تدقیق، فهم عمیق‌تر، توسعهٔ ساختاری نظریه‌ها و فراهم‌آوردن ایده‌های نو است.

ثالثاً تصویری که عموماً از نقش‌آفرینی منفی فلسفه ارائه می‌شود، مخدوش است. چنین نیست که فلسفه ابتدا فیزیک را آلوده کند و سپس خود به نجات آن بشتابد. فیزیک‌دانی که با پرسشی بنیادی دست به گریبان است، به‌طور طبیعی و گاهی ناآگاهانه یا نیمه‌آگاهانه رویکرد فلسفی خاصی را در پیش می‌گیرد. این همان وضعیتی است که نظریه‌های نسبیت و کوانتوم در ابتدای قرن بیستم با آن روبه‌رو بودند. در چنین وضعیتی، نه طرد فلسفه، که به‌کارگرفتن بیش‌تر آن راهگشاست. بنابراین، نمونه‌های تاریخی منفی ارائه‌شده، در واقع، بیشتر شواهدی در تایید ادعای مفید بودن فلسفه برای فیزیک هستند، نه شواهدی علیه آن.

۷-۳. پاسخی به استدلال «جداکردن حساب»

استدلال «جداکردن حساب» بیان می‌دارد فلسفه و علم دو حوزهٔ جداگانه هستند، با روش‌شناسی متفاوت و بنابراین، هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند. با این حال، دیدیم که برای تدقیق و فهم مفاهیم

interaction between sciences and philosophy

نسبیت عام به فلسفه‌ورزی نیازمند بوده و هستیم. بنابراین، علم و فلسفه بی‌ارتباط نیستند و استدلال «جداکردن حساب» اشکالی دارد.

اولاً حتی اگر علم و فلسفه روش‌شناسی اساساً متمایزی داشته باشند، این به منزلهٔ آن نیست که نمی‌توان تعامل مفیدی را میان آن‌ها متصور شد. روش‌شناسیِ به‌فرض متمایز فلسفه نیز می‌تواند برای علم مفید باشد. اینشتین در نامه‌ای به رابرت تورنتن در نوامبر ۱۹۴۴ می‌نویسد:

> با شما در باب اهمیت و ارزش آموزشی روش‌شناسی و نیز تاریخ و فلسفهٔ علم کاملاً موافق هستم. امروزه بسیاری، حتی دانشمندان حرفه‌ای، مانند کسی به نظرم می‌رسند که هزاران درخت را دیده است، اما هرگز جنگلی را ندیده است. دانشی از زمینهٔ تاریخی و فلسفی، رهایی از تعصبات یک نسل را فراهم می آورد، که اغلب دانشمندان از آن رنج می‌برند. به عقیدهٔ من، این رهایی که محصول بینش فلسفی است، وجه تمایز صنعت‌گر یا متخصص صرف از جستجوگر راستین حقیقت است(Howard, 2017).

دیدیم که فکر فلسفی اینشتین چطور در شکل‌گیری نسبیت عام موثر بوده است. در واقع، اینشتین اگر فیلسوف دانسته نشود، دست‌کم فیزیک‌دانی با طبع فلسفی بوده است. اینشتین از زمان دانشجویی توجه عمیقی به مسائل فلسفی علم داشته است. او در دوران تحصیل درسی اجباری با عنوان نظریهٔ تفکر علمی گذرانده است، که درسی در فلسفهٔ علم بوده است(Howard, 2017). بعدها به‌همراه دوستانش در آکادمی المپیا[۱۶]، مطالعه و مباحثهٔ فلسفی را ادامه داد. اینشتین در نامه‌ای به بِسو می‌نویسد:

> به همراه هابیشت و سولووین، عصرها در برن مطالعات و بحث‌های فلسفی منظمی داشتم، جایی که اساساً تمرکز ما بر هیوم بود (بر مبنای نسخهٔ آلمانی نسبتاً خوبی). این مطالعات تاثیر بسزایی بر پیشرفت من داشت، در کنار پوانکاره و ماخ(Gutfreund, 2017: 106).

تقریباً تمام مفسران اینشتین بر این باورند که نسبیت خاص و عام متاثر از این توجهات فلسفی او بوده است. ارتباط اینشتین با فلسفه به این حد نیز محدود نمی‌شود. هووارد متذکر می‌شود که مسائلی که اینشتین نخست در پژوهش‌های فیزیکی خود با آنها مواجه شد، او را به اندیشه‌ورزی فلسفی کشاند. امکان شناخت طبیعت، ابزار و اصول راهنمای شناخت طبیعت، سادگی و زیبایی و جهانشمولی نظریات علمی، وحدت نظریه‌ها، واقع‌گرایی، علیّت، آموزهٔ تعین‌ناقص نظریه‌ها و برخی

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69

نکات دیگر از جملهٔ مهم‌ترین موارد فلسفی هستند که اینشتین در خصوص آنها بحث کرده است[۱۷]. به‌درستی می‌توان او را فیزیک‌دان‌فیلسوف دانست.

اینشتین در این میان تنها نمونه نیست، در واقع، فیزیک‌دانانی که به پرسش‌های بنیادی پرداخته‌اند، غالباً طبعی فلسفی داشته‌اند. امروزه کم نیستند فیزیک‌دانانی که پیشرفت و فهم عمیق‌تر در حوزهٔ پژوهشی خود را نیازمند ارتباط با فلاسفه می‌دانند[۱۸].

اشکال دیگر استدلال «جداکردن حساب» ساده‌سازی بیش از اندازه و صرف‌نظرکردن از ماهیت درهم‌تنیدهٔ فیزیک و فلسفه در پرداختن به پرسش‌های بنیادی است. به دلیل همین درهم‌تنیدگی است که برخی «فیزیک بنیادی» و «فلسفهٔ فیزیک» را دو برچسب برای یک حوزه می‌دانند(Schlosshauer, 2011: 250, 254, 256). جداکردن فیزیک از فلسفه در چنین حوزه‌ای، چه از نظر محتوا و چه از نظر روش‌شناسی، مستلزم نادیده‌گرفتن ابهام(Vagueness) و ماهیت طیف‌گونهٔ مسائل آن حوزه است. بنابراین، مرزبندی میان فیزیک و فلسفه در آن حوزه مستلزم ساده‌سازی بیش از اندازه است. توجه کنید که ادعا این نیست که نمی‌توان مرز واضحی، مثلاً، میان بحثی متافیزیکی درخصوص هستی‌شناسی رابطهٔ علّی و بحثی فیزیکی درخصوص شبیه‌سازی برخورد دو سیاه‌چاله، به‌لحاظ روش‌شناسی، وضع کرد. ادعا این است که در حوزه‌ای خاص، یعنی حوزهٔ فیزیک بنیادی، نمی‌توان به‌سادگی و بدون ساده‌سازی چنین کرد. ادعا این نیست که هیچ پرسش فیزیکی وجود ندارد که جنبه‌ای فلسفی نداشته باشد، بلکه ادعا این است که پرسش‌های فیزیکی وجود دارند که وجهی فلسفی دارند.

حتی بیش از این، می‌توان ادعا کرد که در حوزهٔ بنیادی دوگانگی‌ای(duality) میان متافیزیک و فیزیک وجود دارد. عموم فلاسفهٔ فیزیک، متافیزیک را چارچوبی برای فیزیک دانسته‌اند. این مطلب، دست‌کم در خوانش جدید و امروزی، به‌منزلهٔ آن نیست که فلسفه یا متافیزیک خط‌مشی فیزیک را تعیین می‌کند و فیزیک‌دان موظف به پیگیری آن است. بلکه به این معنی است که تصویری که علم از جهان ارائه می‌کند، خودبه‌خود، مستلزم تصویری متافیزیکی از جهان است[۱۹]. البته این به منزلهٔ آن نیست که تصویر متافیزیکی پیش‌ساخته‌ای درکار باشد؛ تصویر متافیزیکی ما از جهان نیز، درست به همان اندازهٔ تصویر علمی‌مان از جهان، می‌تواند در حال تکامل باشد.

پی‌نوشت‌ها

1. Philosophy's death diagnosis
2. The historic-agnostic argument/challange
3. The division of property argument

۴. اشارات تاریخی این مقاله، مگر در مواردی که صریحاً ذکر شوند، برگرفته از (Gutfreund, 2015)، (Gutfreund, 2017) و (Stachel, 2007) می‌باشند.

interaction between sciences and philosophy

۵. اصل هم‌ارزی ایده اساسی‌ای است که نسبیت عام بر آن بنا شده است. این اصل ایده جهان‌شمولی بودن گرانش را صورت‌بندی می‌کند، نحوه ارتباط نسبیت عام و نسبیت خاص را تبیین می‌کند و پیشنهاد می‌کند که گرانش را به منزلهٔ انحنای فضا زمان در نظر بگیریم. اصل هم‌ارزی دارای چندین بیان است. آزمایش‌گری را در نظر بگیرید که در آسانسوری (که نمی‌تواند از درون آن به جهان بیرون بنگرد،) حرکت ذرات آزمون را مطالعه می‌کند تا از طریق آن اندازه میدان گرانشی در محدوده آسانسور و حوالی آن را بیابد. اصل هم‌ارزی ضعیف، یا همان اصل هم‌ارزی گالیله، ایجاب می‌کند که تشخیص آثار گرانشی از آثار مربوط به شتاب جعبه تنها از طریق مطالعهٔ مسیر سقوط آزاد ذرات آزمون امکان‌پذیر نباشد. اینشتین از نسبیت خاص آموخت که جرم صورتی از انرژی است. لذا مایل بود که گرانش نه فقط با جرم سکون بلکه با تمام صورت‌های انرژی و تکانه جفت شده باشد. بنابراین در طرح‌ریزی نسبیت عام لازم می‌دانست که اصل هم‌ارزی ضعیف به اصلی فراگیر تعمیم یابد که ملاحظات نسبیت خاصی در آن گنجانده شده باشد. این تقاضا او را به اصل هم‌ارزی اینشتین رساند، که بیان می‌دارد: در نواحی به اندازه کافی کوچک فضا زمان، قوانین فیزیک به قوانین نسبیت خاص تقلیل می‌یابند، لذا آشکارسازی وجود میدان گرانشی به وسیلهٔ آزمایش‌های موضعی غیرممکن است. طبق این اصل، برای آزمایش‌گر درون آسانسور علی‌الاصول راهی وجود ندارد که بتواند میان حرکت با شتاب ثابت و حضور در میدان گرانشی یکنواخت تفاوتی قائل شود(Carrol, 2004: 48-52).

۶. قوانین نیوتن، به طور بدون قید، فقط برای رده خاصی از چارچوب‌ها که چارچوب‌های لخت نامیده می‌شوند برقرارند. در چارچوب‌های غیرلخت، یا به عبارتی چارچوب‌های شتاب‌دار نسبت به هم، نیروهای جدیدی موسوم به نیروهای لخت ظاهر می‌شوند. مانند نیروی گریز از مرکز و نیروی کوریولیس که در چارچوب‌های دوّار ظاهر می‌شوند. مکانیک نیوتنی ماهیت فیزیکی این نیروها را مشخص نکرده است. نیوتن فضای مطلق را به‌عنوان پس‌زمینه‌ای ثابت در نظر گرفت که هر تغییر و حرکتی در تقابل با آن آشکار می‌شود. چارچوب لخت چارچوبی است که در حال سکون و یا حرکت با سرعت ثابت نسبت به فضای مطلق است. از دید او، نیروهای لخت زمانی مشاهده می‌شوند که چارچوبی نسبت به فضای مطلق شتاب داشته باشد. ماخ در ۱۸۹۳، از خلال ایده‌های مشابهی که قبلا توسط اسقف برکلی طرح شده بود، رویکردی شبه‌فلسفی برای تعبیر نتایج مکانیک نیوتنی پیشنهاد کرد. از نظر ماخ فضا به خودی‌خود چیزی نیست و صرفا از وضعیت قرارگیری اجسام نسبت به هم انتزاع می‌شود. همچنین مفهوم حرکت نیز به خودی‌خود معنایی ندارد و تنها حرکت نسبی است که معنا دارد. جسم در جهانی تهی نمی‌تواند در حال حرکت تصور شود، زیرا بنا به ادعای ماخ چیز دیگری وجود ندارد که جسم را بتوان نسبت به آن متحرک دانست. در رویکرد ماخ، در جهان ما توده ماده در چیزی مستقر است که آن را ستارگان ثابت می‌نامیم. در این رویکرد، چارچوب لخت چارچوبی است که نسبت به ستارگان ثابت در حال سکون و یا حرکت با سرعت ثابت باشد. این ستارگان ثابت هستند که به واسطه جرم، توزیع و حرکتشان، دستگاه لخت موضعی را در هر نقطه معین می‌کنند. در رویکرد ماخ، منشاء آثار لختی برهمکنش میان ماده به هم جفت شدهٔ جهان است، لذا برهمکنش اجرام عالم سبب ظهور نیروهای لخت می‌شوند. بنابراین، ماهیت نیروهای لخت نیز گرانشی است(Rindler, 2006: 7-8).

۷. در ۱۹۱۸ اینشتین درخصوص به کارگیری اصل ماخ بازنگری کرد. او ایده‌های ماخ را از زبان مکانیک به زبان نظریهٔ میدان ترجمه کرد. در حدود ۱۹۲۰ تعبیر نظریهٔ میدانی از اصل ماخ، با معرفی اتر ماخی تکمیل شد. در درسی که اینشتین در لیدن ارائه کرد، او مفهوم تاریخی اتر را دوباره به کار گرفت؛ اما برخلاف

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 42-69

مفهوم سابق آن، اتر ماخی، که اینشتین آن را توسط تانسور متریک بازنمایی می‌کرد، نه تنها بر ماده تاثیر می‌گذاشت، بلکه از آن تاثیر نیز می‌پذیرفت. این ظرفیت تاثیرپذیری از ماده، آخرین ملجا برای ایده ماخی تولید آثار لختی توسط برهمکنش اجرام مادی بود. اینشتین از تعبیر ماخی آثار لختی منصرف شده بود و در عوض این آثار لختی را به طبیعت فضا، چیزی که آن را اتر ماخی نام نهاده بود، منتسب می‌کرد. در جریان کار خود بر روی نظریهٔ میدان متحد، اینشتین حتی به تقدم علّی فضا نسبت به ماده متمایل شد، که در تضاد آشکار با رویکردهای ماخی اولیهٔ او بود. وقتی کار به اینجا رسید اینشتین ایده‌های ماخی پیشین خود را کاملا رها کرده بود(Gutfreund, 2019: 37-40).

۸. برای دیدن جزئیات بیشتر از برنامهٔ اندرسون–فریدمن بنگرید به:
(Anderson, 1967: ch.4; Friedman, 1983: chap.II & ch.V, part 5)

۹. هندسهٔ پیشین علی‌الاصول توسط آزمایش قابل‌آشکارسازی است؛ میسنر، تورن و ویلر نمونه‌ای از چنین آزمایشی را ارائه کرده‌اند(Misner, Thorne; Wheller, 1973: 430). بنابراین صفت «پیشین» نباید این سوءتفاهم را ایجاد کند که هندسهٔ مذکور ناظر به جنبهٔ غیرقابل‌آزمون فضازمان است.

۱۰. پولی متذکر می‌شود که این مطلب که آیا نسبیت عام فاقد اشیاء مطلق به معنای اندرسون–فریدمنی است یا نه، هنوز مورد مناقشه است. در واقع، برخی معتقدند که دترمینان متریک شیئی مطلق به حساب می‌آید(Pooley, 2010: 199).

۱۱. ودرال متذکر می‌شود که این اظهاری غیرمنصفانه است. او به کار منتشرنشده‌ای از جووانلی اشاره می‌کند که در آن نویسنده نشان می‌دهد که استدلال حفره و استدلال نقطه–اتفاق در طول این زمان بارها توسط گروه‌هایی که به رویکردهای مختلف به گرانش کوانتومی می‌پرداختند، بازکشف شده است(Weatherall, 2020).

۱۲. رابرتز مخالف است؛ او این اصل را مبهم می‌داند و استفاده از آن را مایهٔ نجات از استدلال حفره نمی‌داند (Roberts, 2020).

۱۳. به عنوان نمونه بنگرید به (Carroll, 2004: 434-435; Carlip, 2019: 26; Inverno, 1992: 177-178)

۱۴. گاهی اظهار می‌شود که فلسفه دانشی مرتبهٔ دوم است و از این جهت احترازناپذیر است؛ همان‌قدر که تامل کردن در باب جهان برعهدهٔ فیزیک است، تامل‌کردن در باب فیزیک نیز برعهدهٔ فلسفه است. این اظهار گرچه نادرست نیست، اما چندان روشن نیست یا دست‌کم آن‌قدر که در ابتدا می‌نماید سهل‌الوصول نیست. مقصود از «مرتبهٔ دوم» یا «مرتبهٔ بالاتر» چیست؟ آیا وجود چنین سلسله‌مراتبی بدیهی است؟ «نظریه» و «فرانظریه» به چه نحو از هم متمایز می‌شوند؟ این‌ها پرسش‌هایی هستند که اظهار مذکور به‌سادگی از کنار آن‌ها عبور کرده است. بنابراین، چنین اظهاری تنها با اغماض پذیرفتنی است، مگر آنکه پاسخی به پرسش‌های فوق را در کنار خود داشته باشد.

۱۵. برای دیدن نمونهٔ دیگری از این دست، بنگرید به (de Haro, 2019: 10-14).

۱۶. Akademie Olympia عنوانی که اینشتین و دوستانش برای گروه مطالعاتی خود برگزیده بودند.

۱۷. برای دیدن جزئیات بیشتر در خصوص آراء اینشتین در هر یک از این زمینه‌ها بنگرید به (Howard,2017) و (گلشنی، ۱۳۹۰).

interaction between sciences and philosophy

[۱۸] گرانش کوانتومی چنین حوزه‌ای است. «در سال‌های اخیر تشخیص مقالات در حوزهٔ گرانش کوانتومی از مقالات فلسفه دشوار شده است. غیرمعمول نیست که در مجلات فیزیکی همچون Physical Review D و General Relativity; Gravitation و سایرین بحث از فلاسفه‌ای همچون پارمنیدس، ارسطو، لایب‌نیتس و رایشنباخ به میان آید»(Callender; Huggett, 2004: 1). کارلو روللی (Carlo Rovelli)، یکی از بنیان‌گذاران گرانش کوانتومی حلقه(Loop quantum gravity)، را می‌توان به‌درستی فیزیک‌دان‌فیلسوف دانست. لی اسمولین(Lee Smolin)، یکی دیگر از بنیان‌گذاران گرانش کوانتومی حلقه، به همراه روبرتو آنگِر(Roberto M. Unger) فیلسوف، مشترکاً کتابی درخصوص چیستی زمان تالیف کرده‌اند(Smolin; Unger, 2014).

[۱۹] این غیر از آن است که بگوییم نسبت‌دادن تصویری علمی به جهان مستلزم پذیرش چارچوبی فلسفی است.

References

- Anderson, James L. (1967) *Principles of Relativity Physics*, Academic Press.
- Callender, C.; Huggett, N. (2004) "Introduction", in Callender, C.; Huggett, N. (eds.), *Physics Meets Philosophy at the Planck Scale: Contemporary Theories in Quantum Gravity*, Cambridge University Press.
- Carlip, Steven (2019) *General Relativity: A Concise Introduction*, Oxford University Press.
- Carroll, Sean M. (2004) *Spacetime and Geometry, Pearson Education*, Inc. publishing as Addison Wesley.
- D'Inverno, Ray (1992) *Introducing Einstein's Relativity*, Oxford University Press.
- De Haro, Sebastian (2019) "Science and Philosophy: A Love-Hate Relationship", *Foundations of Science*, 25: 297–314.
- Earman, J. (2006a) "Two challenges to the requirement of substantive general covariance", *Synthese*, 148: 443–68.
- Earman, J. (2006b) "The implications of general covariance for the ontology and ideology of spacetime", In Dieks, D. (ed.), *The ontology of spacetime*, Elsevier: 3–24.
- Earman, J.; Norton, J. (1987) "What price spacetime substantivalism? The hole story", *British Journal of Philosophy of Science*, 38: 515–525.
- Engler, Fynn Ole (2009) "Über das erkenntnistheoretische Raumproblem", in *Stadler et al.*: 107–145.
- Friedman, Michael (1983) *Foundations of space-time theories: Relativistic physics and philosophy of science*, Princeton University Press.
- Giovanelli, Marco (2013) "Erich Kretschmann as a Proto-Logical-Empiricist: Adventures and Misadventures of the Point-Coincidence

interaction between sciences and philosophy

Argument", *Studies In History and Philosophy of Science, Part B: Studies In History and Philosophy of Modern Physics*, 44(2): 115–13 .

- Golshani, Mehdi (2011) *Physics and Philosophy: A Critique of Contemporary Physicists' Philosophy of Physics*, Institute for Humanities and Cultural Studies Press, Tehran (in Persian)
- Gutfreund, Hanoch; Renn, Jurgen. (2015) "The Road to Relativity", *The History and Meaning of Einstein's "The Foundation of General Relativity*, Princeton University Press.
- Gutfreund, Hanoch; Renn, Jurgen. (2017) "The Formative Years of Relativity": *The History and Meaning of Einstein's Princeton Lectures*, Princeton University Press.
- Hawking, S.; Mlodinow, L. (2010) *The Grand Design*, Bantam Books.
- Helzer, Gary (2000) "Special Relativity with Acceleratin", *American Mathematical Monthly*, 3(107): 219-237.
- Howard, Don A. (2017) "Einstein's Philosophy of Science", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/einstein-philscience /
- Huggett, Nick (2010) *Everywhere and Everywhen: Adventures in Physics and Philosophy*, Oxford University Press.
- Johns, Oliver David (2019) "Validity of the Einstein Hole Argument?" *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics,* Vol. 68: 62-70. Arxiv: 1907.01614.
- Ladyman, J., Presnell, S. (2020) "The Hole Argument in Homotopy Type Theory", *Foundations of Physics*, Vol. 50: 319–329.
- Misner, Charles W.; Thorne, Kip S.; Wheeler, John A. (1973) *Gravitation*, W.H. Freeman.
- Norton John D. (1995) "Did Einstein Stumble? The Debate over General Covariance", *Erkenntnis*, Vol. 42: 223-245.
- Oberdan, Thomas (2017) "Moritz Schlick", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/schlick/
- Pooley, Oliver (2010) "Substantive General Covariance: Another Decade of Dispute", in Suàrez M. et al.(eds.) *EPSA Philosophical Issues in the Sciences: Launch of the European Philosophy of Science Association*, Springer.
- Rindler, Wolfgang (2006) *Essential Relativity: Special, General and Cosmological* (2nd edition), Oxford University Press.
- Roberts, Bryan (2020) "Regarding 'Leibniz Equivalence", *Foundations of Physics*, 50: 250–269.

interaction between science and philosophy

- Rosenberg, Alex (2005) *Philosophy of Science: A Contemporary Introduction* (2nd edition), Routledge.
- Rovelli, Carlo (2018) "Physics Needs Philosophy. Philosophy Needs Physics", *Foundations of Physics*, 48(5): 481-491.
- Rovelli, Carlo (2008) *Quantum Gravity*, Cambridge University Press.
- Sanders, Ko (2020) "What Can (Mathematical) Categories Tell Us about Spacetime?" In Huggett, N., Matsubara, K.; Wuthrich, C. (eds.), *Beyond Spacetime: The Foundations of Quantum Gravity*, Cambridge University Press.
- Schlosshauer, Maximillian (ed.) (2011) *Elegance and Enigma: The Quantum Interviews*, Springer-Verlag.
- Smolin, L.; Unger, Robrto M. (2014) *The Singular Universe and the Reality of Time*, Cambridge University Press.
- Stachel, John (2007) "The First Two Acts, in Janssen, Norton, Renn, Sauer Stachel" (eds.), *The Genesis of General Relativity*, Springer: 81-111.
- Straumann, Norbert (2013) *General Relativity*, Springer.
- Stein, Howard (1977) *Some Philosophical Prehistory of General Relativity, In Earman, J. et al. (eds.), Foundations of Space-Time Theories*, University of Minnesota Press, pp. 3-49.
- Weatherall, James O. (2020) "Some Philosophical Prehistory of the (Earman-Norton) Hole Argument", *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 70: 79-87.
- Weatherall, James O. (2016) "Regarding the 'Hole Argument", The British *Journal for the Philosophy of Science*,Vol. 69(2): 329-350.
- Weinberg, Steven (1994) *Dreams of a Final Theory: The Scientist's Search for the Ultimate Law's of Nature*, Vintage Books.
- Weingard, Robert (1979) "Some Philosophical Aspects of Black Holes", *Synthese*, vol. 42(1): 191–219.

interaction between sciences and philosophy