



شناخت فضا- زمان

رابرت دیزال

ترجمهٔ رهام انصاری مهر

مرکز نشر دانشگاهی



Understanding Space-Time
Robert DiSalle
Cambridge University Press, 2008

شناخت فضا - زمان
تألیف رابرت دیسال

ترجمه رهام انصاری مهر

ویراسته بهرام معلمی
نسخه پرداز: احمد مبین جلاهی
طراح جلد: سمیه عابدینی
حروفچین و صفحه‌آرا: مریم حسینی
مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۹۲
تعداد ۵۰۰
چاپ دیجیتال و صحافی: ترام‌نگار
۸۰۰۰ تومان

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، رویه‌روی سینما سپیده، پاساژ خیبری، تلفن: ۶۶۴۱۰۶۸۶، ۶۶۴۰۸۸۹۱
نشانی فروشگاه و نمایشگاه دائمی: خیابان خالد اسلامبولی، نشر خیابان دهم، شماره ۵۰، تلفن: ۸۸۷۲۵۹۵۴

فروش اینترنتی: www.bookiup.ir

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است
فهرست‌نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: دیسال، رابرت / Disalle, Robert

عنوان و نام پدیدآور: شناخت فضا - زمان / رابرت دیسال: ترجمه رهام انصاری مهر.

مشخصات نشر: تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۹۲.

مشخصات ظاهری: هشت، ۱۸۲ ص: مصور.

فهرست: مرکز نشر دانشگاهی؛ ۱۴۴۷، فیزیک: ۱۵۸.

شابک: 978-964-01-1447-6

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی: *Understanding space-time: the philosophical development of physics from Newton to Einstein*, 2006.

یادداشت: کتابخانه.

یادداشت: نمایه.

موضوع: فضا و زمان - تاریخ

شناسه افزودن: انصاری مهر، رهام، ۱۳۹۲ - مترجم

شناسه افزودن: مرکز نشر دانشگاهی

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۲ / ۵۹ / ۵۹ / QC1۷۳

رده‌بندی دیویی: ۵۳۰/۱۱

شماره کتابشناسی ملی: ۳۱۹۰۲۸۳

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

صفحه

عنوان

پنج

پیشگفتار مترجم

۱

پیشگفتار

۵

۱ درآمد

۱۸

۲ حرکت مطلق و ظهور مکانیک کلاسیک

۱۹

۱-۲ نیوتون و تاریخ فلسفه علم

۲۰

۲-۲ دیدگاه تجدیدنظرطلبانه

۲۳

۳-۲ بافت علمی و فلسفی نظریه نیوتون

۲۵

۴-۲ تعریف زمان مطلق

۳۱

۵-۲ فضا و حرکت مطلق

۴۲

۶-۲ دست‌نوشته نیوتون «درباره گرانش و تعادل شاره‌ها»

۴۵

۷-۲ برنامه نیوتونی

۵۳

۸-۲ «عرضه نظام جهان»

۵۸	۹-۲ دستاورد نیوتون
۶۱	۳ تجربه‌گرایی و پیشینی‌انگاری از کانت تا پوانکاره
۶۳	۱-۳ رهیافتی نو به فیزیک طبیعت
۶۷	۲-۳ چرخش کانت از جانب لایب‌نیتس به سوی نیوتون
۷۰	۳-۳ کانت، لایب‌نیتس، و بنیادهای فکری علم
۷۲	۴-۳ نظر کانت درباره فضای مطلق [۵]
۷۹	۵-۳ هلمهولتز و سنجش‌گری تجربه‌گرایی کانت
۸۵	۶-۳ نقد سنت‌گرایی تجربه‌گرایی هلمهولتز
۹۳	۷-۳ تنگناهای قراردادی پوانکاره
۱۰۱	۸-۳ دستاورد سده نوزدهمی
۱۰۵	۴ خاستگاهها و معنا و اهمیت نظریه نسبیت
۱۰۶	۱-۴ زمینه فلسفی نسبیت خاص
۱۱۱	۲-۴ تحلیل اینشتین از همزمانی
۱۱۹	۳-۴ از نسبیت خاص به «میدان جهان مطلق»
۱۲۸	۴-۴ انگیزه‌های فلسفی برای نسبیت عام
۱۳۹	۵-۴ ساختار فضا-زمان خمیده
۱۴۵	۶-۴ نسبیت عام و «جهان-ساختار»
۱۵۸	۷-۴ معنای فلسفی نسبیت عام
۱۶۱	۵ جمعبندی
۱۶۱	۱-۵ فضا و زمان در تاریخ فیزیک
۱۶۶	۲-۵ درباره نظریه و تفسیر فیزیکی
۱۷۱	مراجع
۱۷۹	نمایه

پیشگفتار مترجم

نویسندهٔ این کتاب، رابرت دی‌سال^۱، استاد گروه فلسفه در دانشگاه وسترن انتاریوی^۲ کاناداست. دلبستگیهای فلسفی وی در حوزه‌های تاریخ و فلسفهٔ علم، به‌خصوص تاریخ و فلسفهٔ فیزیک؛ مسائل فلسفی فضا و زمان؛ و پیوندهای میان فلسفهٔ علم و فلسفهٔ تحلیلی است.

«شناخت فضا-زمان»، جدا از پیشگفتار، که دی‌سال در آن سببها و انگیزه‌های نگارش کتابش را بیان می‌کند، از پنج فصل تشکیل شده است: فصلهای درآمد آغازین و پس‌گفتار پایانی کوتاه‌اند؛ سه فصل دیگر نسبتاً بلندند و ساختار اصلی کتاب را می‌سازند. این سه فصل، هر یک درآمد آغازین و پس‌گفتار پایانی ویژه‌ای دارد تا به این ترتیب مباحث هر فصل درهم‌بافته و راه برای درک مطلب هموارتر شود. ماجرای فضا و زمان به خودی خود تودرتو پیچیده است، اما مسیر بحث این کتاب خطی و تاریخ‌نگارانه است. از این رو، دنبال کردن مباحث در آن راحت است.

پرسش دربارهٔ سرشت فضا و زمان به همان تازگی دورانهای گذشته، در هر دوزمینۀ علم و فلسفه، همچنان پابرجا و مطرح است و گویی هیچ‌گاه کهنه نمی‌شود. به گمان نویسنده، پذیرفتنی‌ترین ایده‌ها دربارهٔ فضا-زمان، تا امروز، از نظریه‌های نسبیت استنتاج می‌شود (هرچند برخی نظریه‌پردازان بر این باورند که فقط به کمک نظریهٔ گرانش کوانتومی می‌توان سرشت واقعی فضا و زمان را شناخت، مشخص نیست که چه هنگام بشر به گزارش کامل و سازگاری از این نظریه دست خواهد یافت. نظریه‌های نوتری پرداخته شده‌اند که، مثلاً، در کتاب دیگری از انتشارات دانشگاه کمبریج، «دربارهٔ فضا و زمان»^۳ از آنها

1. Robert DiSalle 2. Western Ontario

3. *On Space and Time*: Alain Connes, Michael Heller, Shahn Majid, Roger Penrose, John Polkinghorne, and Andrew Taylor 2008, Cambridge University Press, First published 2008.

سخن به میان آمده، ولی هیچ‌کدام امکان آزمایش و سنجش تجربی نیافته است). دو نظریه نسبیت خاص و عام، طی دهها سال، از لحاظ تجربی بارها آزمایش شده و هر بار سر بلند بیرون آمده‌اند. اما دانشجویان فلسفه، چنان‌که پیداست، در درسامه‌های خویش با جزئیات فنی نظریه‌های نسبیت، و تفاوت‌های دو نظریه خاص و عام با یکدیگر، چندان آشنا نمی‌شوند. رویکرد دیرال هم به نظریه‌های فضا و زمان، رویکردی فلسفی و تحلیلی است، و ایشان به‌ندرت به جزئیات فنی نظریه‌ها می‌پردازد؛ یک بار در معرفی صورت‌بندی ریمانی فضا (فصل ۳)، و بار دیگر در تحلیل صورت‌بندی مینکوفسکی از فضا-زمان نسبیت خاص (فصل ۴). و البته فیلسوف امروزی فضا-زمان شاید نتواند از ذکر این دو در کتاب خویش، هرچند چکیده‌وار، بگذرد، زیرا تصور این امر بسیار دشوار است که اینشتین بدون این صورت‌بندیهای استادانه چگونه می‌توانست شاهکار فکری خود را که نظریه نسبیت عام باشد، پدید آورد.

برای آگاهی کامل از نظریه‌های نسبیت، آموزشهای فنی ویژه در زمینه‌های ریاضی و فیزیک ضروری است. ولی گمان می‌رود شرح نه‌چندان فنی نویسنده از این نظریه‌ها، در بخشهایی از کتاب و به‌خصوص فصل چهارم، برای خواننده ناآشنا تا اندازه زیادی گویا و روشن باشد. با همه این احوال، بجاست که در این پیشگفتار ذکر از یکی دو تفاوت ظریف میان دو نظریه به میان آوریم که به‌ویژه در فلسفه فضا و زمان مهم است. البته منشأ این تفاوتها آنجاست که فضا-زمان در نسبیت خاص تخت و در نسبیت عام خمیده شمرده می‌شود:

در نسبیت خاص، چنانکه در مکانیک کلاسیک، سکون مطلق معنایی ندارد. مثلاً اگر بپرسیم آیا ذره‌ای ساکن است یا نیست، پرسش درستی مطرح نکرده‌ایم. پرسش درست از این قرار است که آیا ذره نسبت به ذره دیگری ساکن است یا خیر. به همین قیاس در مورد سرعت، جز سرعت نور که به ناظر وابسته نیست، نیز سخن از سرعت‌های نسبی است نه سرعت‌های مطلق. اما، در نسبیت عام حتی نمی‌توان از سرعت‌های نسبی سخن گفت، مگر در مورد دو ذره واقع در یک نقطه از فضا-زمان، یعنی در مکان یکسان در زمان یکسان! (علت آن است که سرعت برداری است که در نقطه خاصی از فضا-زمان قرار دارد. برای هم‌سنجی بردارها در نقطه‌های جداگانه باید یکی را روی دیگری جابه‌جا کرد. و وقتی فضا-زمان خمیده باشد، نتیجه جابه‌جایی موازی بردارها از نقطه‌ای به نقطه دیگر به مسیر وابسته است. از این رو معنا ندارد که بپرسیم آیا دو ذره سرعت یکسانی دارند یا ندارند، مگر آنکه در نقطه یکسانی از فضا-زمان واقع باشند.)

در نسبیت خاص، می‌توان «چارچوب لخت» را به‌خوبی با بهره‌گیری از مجموعه ساعت‌هایی تعریف کرد که همگی نسبت به هم ساکن، و یا در حرکت راست خط یکتواخت‌اند. در نسبیت عام، این کار معنایی ندارد، زیرا وقتی می‌توان سرعت نسبی دو ساعت را تعریف کرد که در نقطه یکسانی

واقع باشند. بنابراین مفهوم چارچوب لخت که در نسبیت خاص، و در مکانیک کلاسیک، بسیار اساسی است، در نسبیت عام کنار گذاشته می‌شود. در واقع، نسبیت عام بر شالوده اصل «هم‌وردایی» استوار است که بر پایه آن چارچوبها (دستگاههای مختصات) همگی جایگاه یکسانی دارند. با وجود این، اگر چندان پای بند دقت در سخن نباشیم، هرگاه دو ذره بسیار به هم نزدیک باشند، همچنان می‌توان سخن از سرعت نسبی آن دو به میان آورد. زیرا در این صورت اثر خمیدگی فضا-زمان بسیار کوچک می‌شود و می‌توان از چارچوب لخت «موضعی» سخن گفت. در این حالت، هرگاه سرعتهای دو ذره در قیاس با سرعت نور کم باشند، می‌توان قوانین کلاسیک (نیوتونی) را نیز به کار گرفت. بجاست که در اینجا از تفاوت اصلی میان گرانش نیوتونی و گرانش اینشتینی هم به اختصار یاد کنیم که در «شناخت فضا-زمان» بارها از آنها سخن می‌رود: در مکانیک کلاسیک گرانش نیرویی است که به جرمها و فاصله‌های بین این جرمها بستگی دارد، در حالی که در نسبیت عام، گرانش در واقع «نیرو» نیست؛ فقط نمایانگر خمیدگی فضا-زمان است که به سبب توزیع جرم و انرژی ایجاد می‌شود و هر جا جرم بیشتری باشد، خمیدگی فضا-زمان هم بیشتر است. بر این اساس، حرکت اجسامی مانند زمین به گرد خورشید که حرکتی در مسیر بیضی شکل و خمیده است، به سبب حضور نیروی جاذبه نیست. زمین و دیگر اجرام کیهانی در فضایی خمیده و پُرپیچ و تاب مسیری را می‌پیمایند که بسیار شبیه خط راست است ولی در فضا-زمان خمیده آن را «ژئودزیک» (کوتاهترین فاصله میان دو نقطه، یا راست‌ترین خط ممکن) می‌نامند.

دقت شود که سخن از خمیدگی فضا-زمان است نه خمیدگی فضا. این تمایز بسیار مهم و اساسی است. اگر توبی را پرتاب کنیم می‌دانیم که مسیری سهمی شکل را می‌پیماید تا سرانجام بر زمین فرو افتد. روشن است که چنین مسیری را نمی‌توان یک ژئودزیک در فضا دانست. فضا بر اثر میدان گرانش زمین خمیده می‌شود، اما نه آن قدرها! نکته آن است که در حالی که فضا مسافت کوتاهی در فضا حرکت می‌کند، مسافت بزرگی هم در زمان حرکت می‌کند. زیرا در فضا-زمان نسبیتی، یکای طول و زمان یکی است (سرعت بدون یکاست و چنانچه سرعت نور برابر یک فرض شود، یک ثانیه تقریباً ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر است). بنابراین، خمیدگی اندک فضا-زمان ممکن است تأثیر چشمگیری داشته باشد.

می‌توان در کتابها و درسنامه‌های دیگر با زیباییها و شگفتیهای نسبیت بیشتر آشنا شد، اما در کمتر (یا هیچ) کتابی به خوبی و دقت دیزال، به شناسایی و تبیین پیشینه و انگیزشهای فلسفی نظریه‌های نسبیت پرداخته‌اند. جز اینها، در کتاب دیزال نکته‌های تازه بسیاری از اندیشمندان بزرگ فلسفه فضا و زمان یافت می‌شود. نکته‌ای اصلی که ناشر کتاب، دانشگاه کمبریج، هم به آن اشاره کرده، این است که فرضیه‌های فلسفی چندان اثری بر فیزیک نگذاشته‌اند. در مقابل، نفوذ فلسفه بر فیزیک با تحلیل فلسفی مفاهیم فضا، زمان، حرکت و ... بروز کرده است.

پیشگفتار

این کتاب به فلسفه فضا و زمان و ارتباط آن با تکوین فیزیک جدید می‌پردازد. تاکنون در کتابها و مقاله‌های تابناکی به این مبحث —نویسندگان مربوط به بحث «مطلق در برابر نسبی»^۱، پرداخته‌اند؛ از این رو شاید به نظر آید که نگارش کتاب دیگری در این زمینه نیازمند دلیلی موجه است. ادعا نمی‌کنم که در این مباحث از دیدگاه تازه‌ای دفاع می‌کنم، یا پیشینیان یکی از دیدگاههای رایج به روشی جدید هستم. چه رسد به آنکه وانمود کنم بررسی گسترده‌ای از این دیدگاهها به دست می‌دهم و به این مبحث می‌پردازم که چگونه آنها با وجود پیشرفتهای اخیر فیزیک بابرجا مانده‌اند. دلیل من بیشتر آن است که آرزو می‌کنم به مجموعه سراسر متفاوتی از مسائل فلسفی پردازم بی‌گمان بین مسائلی که در ذهن دارم با مسائل فضا، زمان، و حرکت مطلق و نسبی، و آثاری که در گذشته و آینده فیزیک گذاشته‌اند، یا ممکن است بگذارند، رابطه تنگاتنگی برقرار است. ولی آنها را نمی‌توان با پرسشهای رایج در متافیزیک فضا-زمان شرح داد: حرکت مطلق است یا نسبی؟ فضا و زمان جوهری (خودبنیاد) اند یا سببی؟ بلکه، مسائلی اند در این خصوص که هر شناختی از فضا، زمان، و حرکت، یا نسبتهای فضایی-زمانی، در وهله اول چگونه ممکن است؟ چگونه جنبه‌های شناخت فیزیکی خویش را به صورت شناخت فضا و زمان بازمی‌شناسیم؟ چگونه جنبه‌های تجربه خود را نمایانگر نسبتهای فضایی-زمانی می‌دانیم؟ چگونه قوانین فیزیک چیزی درباره سرشت فضا و زمان برابمان روشن می‌کنند؟

دو دلیل محکم و قانع‌کننده برای پرداختن به این پرسشها می‌شناسم. از سویی، باور دارم که در کل، تصویر روشن‌تری از رابطه بین متافیزیک فضا و زمان و تکامل فلسفه در برابر ما می‌گشاید. از نظر تاریخی، دو تلاش چشمگیر به عمل آمده است تا فیزیک و فلسفه فضا و زمان را با نظریه‌ای کلی

1. absolute versus relational

از شناخت، ترکیب و ادغام کند: فلسفهٔ سنجش‌گرانهٔ کانت^۱، در تلاش برای گنجاندن [آرای] اقلیدس و نیوتون در چارچوب یک نظریهٔ پیشینی ترکیبی (همنهادی)^۲؛ و اثبات‌گرایی منطقی^۳، در تلاش برای گنجاندن [آرای] اینشتین درونِ نگرشی قراردادگرا (قراردادنگار)^۴. این تلاشها سراسر ناکام از کار درآمدند، و من قصد بازپروری و ترمیم آنها را ندارم. اما، بر این باورم که با فهم بهتر دلایل شکست و ناکامی آنها بینشی فراهم می‌آید؛ نکتهٔ مهمتر آنکه، امیدوارم نشان دهم وظیفه‌ای که پیشینیان در انجام آن ناکام ماندند، یعنی شرح سرشت خاص نظریه‌های فضا و زمان، و نقش ویژه‌ای که آنها مانند پیش‌فرض در نظریه‌های تجربی فیزیک ایفا کرده‌اند، برای ما به همان اندازهٔ آنان مهم است، و افزون بر آن ما هرچه نزدیکتر به آن قرار داریم. از سوی دیگر، معتقدم که پرداختن به این پرسشها تصویر روشن‌تری از گذشتهٔ فیزیک به ما می‌نمایاند. علت این امر آن است که، چنان‌که امیدوارم در فصلهای آتی نشان دهم، لحظه‌هایی که چنین مسائلی بیشترین ضرورت را یافته است، دقیقاً دوران‌سازترین لحظه‌ها در تاریخ فیزیک فضا-زمان به‌شمار می‌آیند. دگرگونیهای مفهومی پیرامونه‌ای که نیوتون، اینشتین و هم‌تایانسان پدید آوردند، به‌سادگی رخ نمی‌داد، مگر اینکه دربارهٔ همین مسائل و پرسشها به ژرفاندیشی می‌پرداختند. پرداختن ما مبنی بر اینکه این دگرگونیها گامهای سرنوشت‌ساز رو به جلویی بودند — یعنی، مستقل از اینکه نظریه‌های هرچه سودمندتری بودند، به‌راستی به فهم ژرف‌تری از سرشت و ساختار فضا-زمان انجام می‌دادند — به‌نحوی به توفیق نتیجهٔ عمل فلسفی آنها مربوط می‌شود. این ایدهٔ چندان نوظهوری نیست. نظیر آن در دل تفسیر اثبات‌گرایانهٔ نظریهٔ نسبیت هم یافت می‌شد: اینشتین نسبیت خاص و عام را همواره با «تحلیل فلسفی» مفاهیم فضا و زمان ارائه داد. اما تفسیر اثبات‌گرایان بیشتر بر پایهٔ تصویر ساده‌انگارانه‌ای از نسبیت، و نیز آرای ساده‌انگارانه از چیزی استوار بود که ممکن است «تحلیل فلسفی» باشد. با وجود کاستیهای تلاش اثبات‌گرایان برای قراردادن نسبیت در داخل چشم‌انداز فلسفی، به‌نظر می‌رسد از آن پس درک نسبت فلسفه با فیزیک شرایط آسانتری پیدا کرده است: مانند سرچشمهٔ انگیزشهای فلسفی، و حتی فرضیه‌های نظری برای فیزیکدانان، ولی نه مانند روشی برای تحلیل علمی. ظاهراً، چنین انگیزشها و فرضیه‌هایی، به‌نحوی گریزناپذیر ذهنی‌اند، و ارزش عینی آنها را فقط می‌توان به اعتبار توفیق تجربی نظریه‌هایی دآوری کرد که پدید آورده‌اند. اینشتین گمان می‌کرد هرکس گامهای فلسفی مشخص او را دنبال کند، با هر پیشینهٔ علمی، اصول پایهٔ نسبیت خاص و عام را درک می‌کند. اما، در اواخر قرن بیستم فیلسوفان به این نتیجه رسیدند که آن گامها و مراحل تا اندازه‌ای اختیاری است، و به نظریه‌هایی که اینشتین^۵ عملاً پدید آورد ربط چندان روشنی ندارند. آنها برای اینشتین ارزش اکتشافی^۶ داشتند، و چه‌بسا

1. Kant's critical philosophy 2. the synthetic a priori

3. logical positivism 4. conventionalist 5. Einstein 6. heuristic

برای نظریه آتی فضا-زمان هم چنین باشند. برای آنکه در اینجا نیز باور کنیم چنین برهانهای فلسفی می‌توانند سرنوشت‌ساز باشند — نه تنها نسبت به انگیزش پرداخت نظریه، بلکه نیز به سبب ارزش واقعی آنها در شناخت علمی ما از جهان — به گزارشی از آن برهانها، و نقشهای ویژه‌ای که فلسفه و فیزیک در آنها ایفا کرده‌اند، باید از لحاظ فلسفی زیرکانه‌تر و از نظر تاریخی واقع‌بینانه‌تر باشند. انگیزه فراهم آمدن کتاب حاضر همین موضوع است. این کتاب را برهان یا نتیجه تکنیکی خاصی متمایز نمی‌کند؛ در این باب از سنت آثار برجسته‌ای بهره می‌گیرد که راجع به فضا-زمان مطلق و نسبی پدید آمده‌اند، مانند آثار اسکالر^۱ (1977)، فریدمن^۲ (1983) و ایرمن^۳ (1989)، که چنان به خوبی پروانده شده‌اند که هندسه فضا-زمان را در گفتمان فلسفی به مبحثی آشنا تبدیل کرده‌اند. نیز، نمی‌توان ادعا کرد که این کتاب گنجینه‌ای از جزئیاتی تاریخی است که پیشتر شناخته نشده‌اند، هرچند بر برخی نکات تاریخی تأکید می‌ورزد که در فلسفه فضا و زمان به ندرت بررسی شده‌اند. در عوض، در این کتاب تلاش می‌شود تا در حکم جزئی از تلاش فلسفی بسیار هماهنگ و سازگار، چند دستاورد کمابیش آشنا از چشم‌اندازی سراسر ناآشنا ارائه شوند — تلاشی که در آن، با زنجیره‌ای از دیدگاههای فلسفی مهم، پیوند رشدیافته میان فرضهای فیزیکی ما و شناختمان از فضا و زمان تحلیل شود. فیلموفان اوایل قرن بیستم در نگرستن به تاریخ از این چشم‌انداز در وضع دشواری قرار داشتند، زیرا فلسفه فضا و زمان را در اصل در حکم برهانی در مقابله با نیوتن، یعنی در حکم نبردی از معرفت‌شناسی امروزی^۴ در برابر متافیزیک کهن‌گرا^۵ تلقی می‌کردند. در این کتاب، می‌کوشم نشان دهم بهترین فلسفه فضا و زمان — جزئی از آنکه در تحول فیزیک سرنوشت‌ساز بوده است، زنجیره‌ای به هم پیوسته از برهانهای را تشکیل می‌داده که با نیوتن^۶ آغاز شد؛ برهانهای در این باره که مفاهیم فضا و زمان در فیزیک چگونه باید با گزاره‌های تجربی تعریف شوند. از چنین دیدگاهی به تاریخ، کتاب نگارنده به پرسشهای دیگری که فلسفه علم را در قرن بیستم ابهام‌آمیز کرده بود، نماهای روشنی می‌بخشد: نکته مهمتر اینکه چگونه می‌توان دگرگونی مفاهیم بنیادی، مانند مفاهیم فضا، زمان و حرکت را به مثابه تکاملی عقل‌بنیاد فهمید.

بنابراین، روشن است که اکثر مخاطبان این کتاب فیلسوفان علم، دوستدار فیزیک، و فیزیکدانانی خواهند بود که دوستدار پیشرفت نظری فیزیک و ارزش فلسفی زمینه‌کاری خویش‌اند. اما، نیز امیدوارم که علاقه‌هر خواننده فیلسوف‌منشی را جلب کند که درباره نقش تحلیل فلسفی به مثابه ابزاری برای پژوهش علمی، و درباره جهان فیزیکی، در حکم هدفی برای باریک‌اندیشی فلسفی کنجکاو است. در این هر دو زمینه و حوزه، تاریخ فیزیک فضا و زمان سرچشمه بی‌ظنیری از شناخت و بینش است.

1. Sklar 2. Friedman 3. Earman 4. modern epistemology

5. old-fashioned metaphysics 6. Newton