قلمرو علم
150 155

فلسفه فیزیک

فلسفه فیزیک

درآمدی بسیار کوتاه

دیوید والاس
استاد سابق دانشگاه آکسفورد و صاحب کنونی کرسی ملون
فلسفه علم در دانشگاه پیتسبورگ

ترجمه‌ی
ناهید سادات ریاحی

انتشارات مازیار

سرشناسه : والاس، دیوید، ۱۹۷۶- م.
Wallace, David, 1976-
عنوان و نام پدیدآور : فلسفه فیزیک: درآمدی بسیار کوتاه/ دیوید والاس؛ ترجمه‌ی ناهیدسادات ریاحی.
مشخصات نشر : تهران: مازیار ، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری : ۱۴۲ ص؛ مصور، جدول، نمودار؛ ۱۴/۵×۲۱/۵س‌م.
فروست : قلمروعلم
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۴۲-۰
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت : عنوان اصلی: Philosophy of physics: a very short introduction, 2021
یادداشت : نمایه
یادداشت : کتابنامه: ص. ۱۳۴ - ۱۳۳.
موضوع : Physics -- Philosophy
Quantum theory
موضوع : فیزیک -- فلسفه
کوانتوم
شناسه افزوده : ریاحی، ناهیدسادات، ۱۳۶۹ -، مترجم
رده‌بندی کنگره : QC۶
رده‌بندی دیویی : ۵۳۰/۰۱
شماره کتابشناسی ملی : ۹۲۹۵۱۴۶

mazyarpub@yahoo.com

انتشارات مازیار
ثبت علامت تجاری: ۳۵۳۴۲۴
مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱

فلسفه فیزیک
دیوید والاس
ترجمه‌ی ناهید سادات ریاحی
صفحه‌آرایی مروا ک.
چاپ اول ۱۴۰۲
شمارگان ۵۵۰
لیتوگرافی سحر، چاپ و صحافی طیف‌نگار
شابک ۱-۲۹-۷۰۶۱-۶۲۲-۹۷۸
مواد اولیه این کتاب به صورت آزاد تهیه شده است.

|برای خرید اینترنتی و اطلاعات بیشتر |
www.mazyarpub.ir

فهرست مطالب

مقدمه ۷

۱. روش‌ها و ثمرات علم ۱۳

۲. حرکت و لختی ۲۸

۳. نسبیت و فلسفه آن ۴۷

۴. تقلیل و برگشت‌ناپذیری ۷۶

۵. اسرار کوانتومی ۹۶

۶. تفسیر کوانتوم ۱۱۳

مقدمه

تا چند صد سال پیش، عبارت «فلسفه فیزیک» یک همان‌گویی (Tautology) به نظر می‌رسید، چرا که فیزیک، همان فلسفه طبیعی؛ و وظیفه فیلسوف طبیعی، درک جهان طبیعی بود. نوشته‌های ارسطو به همان اندازه که درباره‌ی اخلاق و زیبایی‌شناسی است، درباره‌ی ریاضی و علم نیز هست. نیوتون نیز کار خود را نوعی فلسفه می‌دانست و آن را با فلسفه رقبای خود مقایسه می‌کرد. دیری نپایید که فیزیک، از فلسفه جدا شد و کار خود را به عنوان یک رشته مستقل آغاز کرد.

فیزیک، نه اولین رشته‌ی جداشده از فلسفه بود و نه آخرین. اغلب گفته می‌شود که فلسفه هیچ پیشرفتی نمی‌کند، اما همین ایجاد رشته‌های مستقل، نشان‌دهنده‌ی پیشرفت فلسفه است: ریاضیات در دوران باستان، فیزیک در رنسانس، زیست‌شناسی پس از داروین، منطق در اوایل قرن بیستم، علوم کامپیوتر در اواسط قرن بیستم و علوم شناختی به تازگی. در تمام این موارد، پیشرفت زیادی حاصل شد، بسیاری از مناقشات حل گردید، ابهامات روشن شد و در نتیجه یک رشته مستقل ایجاد گردید و برای پیشرفت بیشتر آماده شد. دانیل دنت، فیلسوف، فلسفه را به صورت کاری تعریف می‌کند که وقتی نمی‌دانیم چه سوآلی بپرسیم، انجام می‌دهیم؛ اما وقتی به اندازه کافی دریابیم که سوآلات چیست و بتوانیم به آن‌ها پاسخ دهیم، علم جدیدی از فلسفه زاییده می‌شود.

مثلاً به تازگی در علوم شناختی یا در منطق چنین اتفاقی افتاده و علم و فلسفه در هم تنیده شده‌اند. اما فیزیک سه قرن فرصت داشت تا مستقل شود و اکنون جدایی آکادمیک آن از فلسفه تقریباً کامل شده است؛ بنابراین تعداد کمی از فیزیکدانان حرفه‌ای، به اندازه کافی فلسفه یاد می‌گیرند و تعداد کمی از فیلسوفان، چیزی بیش از اصول اولیه فیزیک می‌دانند. پس فلسفه فیزیک چگونه می‌تواند به بقای خود ادامه دهد؟

اولین، واضح‌ترین و ساده‌ترین دلیل این است که اگرچه مبانی مفهومی

فیزیک، بسیار واضح‌تر از ماقبل نیوتون است، اما هنوز چیزهای زیادی وجود دارند که نمی‌فهمیم. فیزیک صرفاً محاسبات بدون تفکر نیست و فیزیکدانان خوب به شوق سوآلات مفهومی و پارادوکس‌هایی زنده‌اند که در کارشان به وجود می‌آید! در واقع، محاسبات خوب اما کم، بی‌اهمیت هستند، چرا که هیچ مرز دقیقی بین جنبه‌های عینی و پیش‌بینی‌کننده فیزیک و مبانی مفهومی آن وجود ندارد. این اولین وظیفه فیلسوف فیزیک است؛ چرا که بخش زیادی از فلسفه فیزیک با این جنبه از خود فیزیک استمرار دارد و شفافیت فلسفی می‌تواند به پیشرفت فیزیک کمک کند.

دلیل دوم این است که روش‌های علم و نگرش‌هایی که دانشمندان، فیلسوفان و به طور کلی مردم باید نسبت به این روش‌ها داشته باشند، بسیار مهم است؛ و این امر بدون دانستن جزئیات، امکان‌پذیر نیست. اگر این روش‌ها را انتزاعی در نظر بگیریم، در بهترین حالت، بینش محدودی نسبت به روش علمی، یا نگرشی که باید نسبت به نظریه های علمی داشته باشیم، به دست می‌آوریم؛ بنابراین یکی از وظایف مهم فیلسوف فیزیک این است که به نتایج و فرآیندهای فیزیک نگاه کند و ببیند آن‌ها به طور کلی‌تر چه درس‌هایی در مورد علم به ما می‌آموزند. باز هم، این کار صرفاً برای ناظران بی‌علاقه بیرونی فیزیک نیست؛ به این معنا درک روش علمی برای علم خوب، مهم است و در فیزیک مدرن روز به روز مهم‌تر هم می‌شود.

وظیفه سوم فیلسوف فیزیک، باز هم با فیزیک استمرار دارد، اما در معنایی متفاوت: با نظریه‌هایی که برای توصیف جهان هستی به کار می‌بریم، عملکرد آن را به بهترین وجه ممکن درک کنیم. در گذشته، درک ماهیت عمیق جهان، وظیفه متافیزیک بود، اما در دوران مدرن، این درک بر بهترین نظریه‌های فیزیکی انتقادآمیز تکیه می‌کند. از این منظر، فلسفه فیزیک پلی بین متافیزیکدان و فیزیکدان ایجاد می‌کند ــ یا به عبارت دیگر، فلسفه فیزیک به ما می‌گوید که چگونه متافیزیکی را انجام دهیم که دارای جنبه‌های علمی هم هست.

فلسفه فیزیک، موضوعی میان‌رشته‌ای است که بین فیزیک اصلی، جریان غالب فلسفه، و فلسفه عمومی علم قرار می‌گیرد، و ایده‌ها و بینش‌ها را بین آن‌ها انتقال می‌دهد. برخی از فیلسوفان فیزیک در گروه‌های فلسفه کار می‌کنند

و عنوان شغلی «فیلسوف فیزیک» یا «فیلسوف علم» دارند، اما بسیاری دیگر فیزیکدان هستند. (اینشتین، بدون تردید، فیلسوف برجسته فیزیک قرن بیستم است.) این کتابی است در مورد فلسفه فیزیک به عنوان یک موضوع، نه به عنوان نهادی آکادمیک در دانشگاه‌های قرن بیست و یکم.

بحث دیگر این است که «شیطان در جزئیات است[1]». فلسفه فیزیک به ندرت به فیزیک به عنوان یک کل می‌پردازد، بلکه به حوزه های خاصی در درون آن می‌نگرد. برای هر رشته‌ای در فیزیک می‌توانیم سوآلات مفهومی یا فلسفی در نظر بگیریم که در آن زمینه مطرح می‌شوند. مسائل هر حوزه فرعی از یکدیگر متمایز هستند، حتی اگر در ظاهر هرگز اینطور به نظر نرسد. نمونه‌های زیادی وجود دارد که برخی از آن‌ها اخیراً اهمیت پیدا کرده‌اند و در مرزهای فیزیک فعلی قرار می‌گیرند. برای مثال:

- فلسفه نظریه میدان کوانتومی به پرسش‌های مفهومی برخاسته از بنیادی‌ترین نظریه‌های کنونی ما می‌پردازد، پرسش‌هایی که زیربنای نتایج مهم به‌دست‌آمده در برخورد دهنده بزرگ هادرون (LHC) در ژنو هستند. مثلا آیا ثابت‌های طبیعت به نحوی دقیق تنظیم شده‌اند تا جهان پیچیده بزرگی را ایجاد کنند که در اطراف خود می‌بینیم؟ یا آیا حتی پرسیدن این سوال بامعناست؟ یا اینکه کدام روش علمی برای توسعه‌ی نظریه‌های ما نسبت به نظریه‌هایی فراتر از آن‌هایی که در LHC آزمایش شده‌اند مناسب‌تر است؛ یعنی قلمرویی که در آن، نظریه‌ها بسیار، و شواهد کم هستند؟
- فلسفه کیهان‌شناسی، علم کل کائنات را بررسی می‌کند. وقتی فقط یک جهان هستی را می‌توانیم مشاهده کنیم، چگونه می‌توانیم نظریه‌هایی که می‌گویند احتمال یک جهان از جهان دیگر بیشتر است را بفهمیم، چه برسد به اینکه آن‌ها را آزمایش کنیم؟ آیا این فرضیه علمی است که جهان ما فقط یکی از یک چند جهان وسیع است؟ و با توجه به شواهد پیچیده و غیرمستقیم، چگونه مدل کیهان‌شناسی صحیح را انتخاب کنیم؟
- فلسفه گرانش کوانتومی به «مرز نهایی» در فیزیک مدرن می‌پردازد و به

1. The devil is in the details

دنبال آشتی دادن نسبیت عام (بهترین نظریه گرانشی ما) با نظریه کوانتومی (چارچوبی که تمام نظریه های فیزیکی دیگر ما در آن نوشته شده‌اند) است. آیا نظریه ریسمان که مدعی اصلی انجام این آشتی است، علم خوبی است علم بدی است، یا اصلا علم نیست؟ در این ادعای حیرت‌انگیز که سیاهچاله‌ها ــ که به طور ساده‌لوحانه‌ای انتظار داریم چیزی از آن‌ها فرار نکند ــ مانند اجسام داغ معمولی رفتار می‌کنند، چه چیزی در معرض خطر است، و چگونه می‌توانیم این ادعاها را با توجه در دسترس نبودن هیچ آزمایشی ارزیابی کنیم؟ و پارادوکس‌های مفهومی در مورد سیاهچاله‌های کوانتومی چگونه باید حل یا منحل شوند؟

اما مهم‌ترین مثال‌ها، حداقل برای بیشتر کارهای بنیادی و فلسفی پنجاه سال اخیر، نظریات قدیمی‌تر و کلی‌تر هستند. بخش عمده‌ای از کار در فلسفه فیزیک به سه حوزه مربوط می‌شود: فلسفه فضازمان (که مفاهیمی را ارائه می‌دهد که فضا، زمان و حرکت، یعنی احتمالا مهم‌ترین مفاهیم فیزیک را می‌توان با آن‌ها درک کرد). فلسفه مکانیک آماری (که زیربنای روابط بین نظریه‌های فیزیکی در مقیاس‌های مختلف است و بین بنیادی‌ترین بخش فیزیک و تقریباً هر آزمون یا کاربرد آن قرار دارد). در نهایت شاید معروف‌ترین بخش فلسفه فیزیک، فلسفه مکانیک کوانتومی باشد (که تلاش می‌کند زبان شگفت‌انگیز و عجیبی را که بیشتر قرن گذشته فیزیک با آن نوشته شده است، از شتاب‌دهنده‌های ذرات گرفته تا ترانزیستورها و نخستین لحظات کیهان را درک کند و شاید تغییر دهد).

ساختار این کتاب بدین گونه تنظیم شده است: فصل ۱ با چند سوآل نسبتاً کلی در مورد روش علمی و ماهیت نظریه‌های علمی آغاز می‌شود. فصل ۲ در یک زمینه تاریخی به این سوآل می‌پردازد که «حرکت چیست»؛ یعنی ایجاد مکانیک توسط نیوتون و دیگران در قرن هفدهم. (این یک امر رایج در فلسفه فیزیک است که باید به تاریخ ایده‌ها توجه کنیم، و اینکه فیزیکدانان بزرگ چگونه به سوی مفاهیم عجیب، سوق داده شده‌اند.) فصل ۳ این ملاحظات را به نظریه نسبیت، به «پارادوکس‌های» فرضی این نظریه و درک عمیق‌تر فضا، زمان و حرکتی که ارائه می‌کند، وارد می‌نماید. فصل ۴ نشان می‌دهد که چگونه مکانیک آماری به ما کمک می‌کند تا روابط بین نظریه‌ها را در مقیاس‌های بزرگ و

کوچک درک کنیم، و چگونه چنین درکی، مفاهیم جدیدی مانند برگشت‌ناپذیری و احتمال را که در نظریه‌های بنیادی‌تر ما غایب هستند و حتی به نظر می‌رسد با آن‌ها ناسازگارند، دربرمی‌گیرد. فصل‌های ۵ و ۶ به مکانیک کوانتومی می‌پردازند؛ ابتدا پارادوکس‌های حاصل از آن و سپس چگونگی حل آن‌ها را ارائه می‌دهند، و در نهایت می‌پرسند چرا این موضوع برای فیزیک اهمیت دارد.

بحث سوم در فلسفه فیزیک این است که ریاضیات مهم است. نظریه‌های فیزیک مدرن با ریاضیات نسبتاً انتزاعی فرمول‌بندی می‌شوند و درک کامل مسائل فلسفی فیزیک (چه رسد کمک به حل آن‌ها)، بدون درک کامل و دقیق آن نظریه‌ها و ریاضیات‌شان امکان‌پذیر نیست. (با توجه به این موضوع، جای تعجب نیست که فیلسوفان فیزیک معمولاً دارای مدارک تحصیلات تکمیلی فیزیک هستند، حتی زمانی که در گروه‌های فلسفه کار می‌کنند.) در کتابی مانند این، ارائه کاملی از هیچ یک از نظریه‌های مدرن فضازمان، مکانیک آماری، یا نظریه کوانتومی واقع‌بینانه نیست؛ چه رسد به هر سه و بنابراین نمی‌توانم وانمود کنم که شما فقط با همین کتاب، به درک کاملی از مسائل فلسفی دست خواهید یافت. با این حال امیدوارم جزئیات و عمق کافی وجود داشته باشد تا هم به خوانندگان آموزش‌دیده فلسفه کمک کند تا بفهمند که چگونه مسائل فیزیک بر سوآلات عمیق آن‌ها تأثیر می‌گذارد، و هم خوانندگان آموزش‌دیده در فیزیک بتوانند موضوعات مفهومی مورد بحث من را به آموزش‌های تخصصی خود مرتبط سازند و هم تمام خوانندگان بتوانند به بینشی در مورد مشکلات اصلی این حوزه و چرایی اهمیت آن‌ها دست یابند.

حتی در سه حوزه اصلی مورد بحث من و با کنار گذاشتن بسیاری از موضوعات فنی که نمی‌توان در کتابی مانند این گنجاند، باز هم سوآلات بسیار جالب‌تری پیش می‌آیند. ناگزیر، قضاوت‌های خودم، هم در مورد مهم‌ترین سوآل‌ها و هم در مورد امیدوارکننده‌ترین تلاش‌ها برای پاسخ به آن سوآل‌ها، نقش عمده‌ای در انتخاب موضوع بحث و نحوه ارائه آن داشته است. برای خوانندگانی که از قبل با فلسفه فیزیک آشنا نبوده‌اند، یعنی مخاطبان هدف من، منابع مختلف دیگری را گنجانده‌ام و جزئیات بیشتر و دیدگاه‌های جایگزین را ارائه کرده‌ام.

۱

روش‌ها و ثمرات علم

فیزیک بخشی از علم است، اما یک دیدگاه مهم وجود دارد که در آن فلسفه فیزیک فقط بخشی از فلسفه علم نیست. به طور سنتی، فیلسوف علم کمی جدا از علم ایستاده است و به عنوان یک فرد خارجی علاقه‌مند، به مطالعه کاربرد علم، یعنی روش علمی، و سوآلات نسبتاً کلی در مورد قابلیت اطمینان و ارزش تولید علم می‌پردازد. فیلسوفان فیزیک معمولاً با سوآلات بسیار خاص‌تری، نه در مورد علم و نه حتی در مورد فیزیک سروکار دارند؛ بلکه به سوآلات مفهومی مطرح شده توسط نظریه های فیزیکی خاص می‌پردازند؛ مثلا اینکه نظریه نسبیت عام در مورد فضا و زمان به ما چه می‌گوید؟ چگونه باید قانون دوم ترمودینامیک را درک کنیم؟ یا آیا اساساً مشکلی در نظریه کوانتومی وجود دارد؟ اگرچه آن‌ها در انتقاد از روش‌های فیزیکدانان در موارد خاص کوتاهی نکرده‌اند، اما بر روی مسائل کلی‌تر روش‌شناسی فیزیک نیز تمرکز ننموده‌اند.

با تمام این اوصاف، پرسش‌هایی که فلسفه عمومی علم پرسیده و پاسخ‌های آزمایشی که ارائه کرده، زمینه‌ای حیاتی برای فلسفه فیزیک است. بنابراین وظیفه من در این فصل این است که درآمدی بر روش علمی و برخی معماها در مورد چگونگی تفکر در مورد نظریه‌های علمی را ارائه دهم.

روش علمی؛ از استقرا تا ابطال و فراسوی آن

یک سیب را رها کنید. چه اتفاقی رخ می‌دهد؟ سقوط می‌کند. همین کار را با یک سیب دیگر یا همان سیب در ارتفاع دیگری انجام دهید. باز هم سقوط می‌کند. همین کار را برای چیزهای دیگر مانند گلابی، آجر یا گربه انجام دهید. با کمک تجربه، مصداق‌های بسیار زیادی از جمله «اگر فلان‌شی نگه داشته نشود، سقوط می‌کند» و مصداق‌های کمی از جمله «اگر فلان شی نگه داشته نشود، سقوط نمی‌کند» می‌یابیم و بنابراین، شاید به عنوان یک نتیجه‌ی آزمایشی حاصل از مشاهدات خود، حق داشته باشیم بگوییم که «همه اشیایی که نگه

داشته نشوند، سقوط می‌کنند».

این نوع نتیجه‌گیری را استقرای شمارشی[1] می‌نامیم که احتمالاً ساده‌ترین و قدیمی‌ترین مدل دانش تجربی است: اگر مشاهدات زیادی به شکل «این X است که هم‌چنین Y است» را جمع‌آوری کنید و «این X است که Y نیست» را مشاهده نکنید، می‌توانید استنباط کنید که همه Xها، Y هستند.

شاید این مدل تا حدودی بتواند نشان دهد که چگونه یک رشته جدید از علم در مراحل اولیه خود پیش می‌رود. با این حال، این مدل حتی به عنوان یک کاریکاتور از روش فیزیک، یا هر علم بالغ دیگری، ناامیدکننده است.

چرا؟ تا حدودی به این دلیل که چیزی به نام «فقط مشاهده» وجود ندارد. جهان پیچیده است و ما می‌توانیم به روش‌های نامحدود به آن نگاه کنیم؛ یعنی باید در مورد آنچه که باید مشاهده نماییم، قضاوت کنیم. این امر حتی در مورد مشاهداتی که با چشم و گوش خود انجام می‌دهیم نیز صادق است. با این حال این مشکل در فیزیک مدرن صد برابر شده است که در آن، میلیون‌ها یا میلیاردها دلار صرف توسعه ظرفیت انجام مشاهدات بسیار خاص می‌شود که به هیچ وجه تصادفی انتخاب نمی‌شوند. دلیل دیگر آنکه شکل یک نظریه علمی، بسیار ظریف‌تر و پیچیده‌تر از «همه Xها، Y هستند» است. شکل واقعی نظریه گرانش نیوتون، حتی به صورت شماتیک، اینگونه نیست که «همه اجرامی که نگه‌داشته نشوند، سقوط می‌کنند»، بلکه بدین صورت است: «نیروی گرانشی وارد بر یک جسم، ناشی از جسم دیگر، متناسب با حاصلضرب جرم‌ها تقسیم بر مجذور فاصله بین آن‌هاست و در امتداد خط اتصال آن‌ها عمل می‌کند». این چیزی نیست که بتوانید بدون فکر به آن برسید.

در واقع، اینها دو روی یک سکه هستند: اشتباه استقرای شمارشی این است که فرآیند ارائه یک نظریه (آنچه فیلسوفان «زمینه کشف[2]» می‌نامند) را با فرآیند جمع‌آوری و ارزیابی شواهد برای آن (زمینه توجیه[3]) مخلوط می‌کند.

جایگزینی بسیار تاثیرگذار در قرن بیستم توسط فیلسوف، کارل پوپر (یکی از معدود فیلسوفان علم که بیشتر فیزیکدانان نام او را شنیده‌اند) ارائه شد.

---

1. Enumerative Induction
2. Context of Discovery
3. Context of Justification

در ساده‌ترین و مشهورترین نسخه رویکرد پوپر، روش علمی یک فرآیند دو مرحله‌ای است:

۱. یک نظریه ارائه دهید (اصلا مهم نیست چگونه).

۲. تلاش کنید تا آن نظریه را ابطال کنید: یعنی برخی از پیش‌بینی‌های نظریه را آزمایش کنید.

اگر نظریه در آزمون شکست بخورد، ابطال می‌شود، پس آن را دور بیاندازید و به مرحله (۱) بازگردید. اگر قبول شد، آن را به روش‌های مختلف آزمایش کنید.

این رویکرد ابطال گرایی[1] نام دارد و برخلاف استقرای شمارشی، نوعی کاریکاتور روش علمی است. بنابراین مانند همه کاریکاتورها، تنها برخی از ویژگی‌های اصلی موضوع خود را نشان می‌دهد، با این حال جزئیات آن را نباید خیلی تحت‌اللفظی در نظر گرفت، و اگر اینطور باشد، احتمالاً موجب گمراهی شود.

ما می‌توانیم این امر را در مثال جهان واقعی فیزیک قرن ۱۹ ببینیم. طبق گرانش نیوتونی، سیارات در مدار بیضی‌شکل به دور خورشید می‌چرخند؛ حضیض یک مدار، نزدیکترین نقطه نزدیک به خورشید است. هم‌چنین با توجه به گرانش نیوتونی، در غیاب سیارات دیگر، حضیض یک سیاره، در تمام مدارها در یک نقطه‌ی یکسان از فضا قرار دارد ــ اما از آنجایی که سیارات دیگر وجود دارند، حضیض در مدارهای متوالی، عملا کمی دورتر از خورشید قرار می‌گیرد و از مقدار قابل انتظار تجاوز می‌کند. گرانش نیوتونی به ما می‌گوید که مقدار این تجاوز را چگونه محاسبه کنیم.

هنگامی که فیزیکدانان این محاسبه را انجام دادند، دریافتند که برای دو سیاره ــعطارد و اورانوســ از هفت سیاره شناخته شده در آن زمان، بین مقدار پیش‌بینی نظریه و مقدار اندازه‌گیری‌شده، اختلاف وجود دارد؛ که البته این اختلاف‌ها بسیار کوچک هستند: برای عطارد که نزدیک‌ترین فاصله‌اش به خورشید، آن را در فاصله ۴۴ میلیون کیلومتری قرار می‌دهد، تجاوز پیش‌بینی‌شده حدود ۳۰۰۰ کیلومتر در هر مدار است، و تجاوز اندازه‌گیری‌شده حدود ۲۰ کیلومتر کمتر است. به هر حال حتی در قرن نوزدهم، هم محاسبات و هم اندازه‌گیری‌ها، به اندازه کافی دقیق بودند تا مطمئن شویم که این اختلاف واقعی است.

---

1. Falsificationism

بر اساس رویکرد ابطال‌گرایی، این اختلاف باید حاکی از پایان گرانش نیوتونی باشد، چرا که پیش‌بینی آن نادرست است. پس وقت آن بود که به سوی نظریه بعدی کوچ کنیم! اما چنین اتفاقی رخ نداد و نباید هم رخ می‌داد. اول اینکه، گرانش نیوتونی با تعداد زیادی پیش‌بینی موفق و توضیحات آموزنده، صدها سال بسیار موفق بود؛ بنابراین دور انداختن آن و شروع از ابتدا، در غیاب هر گونه ایده بهتر، می‌توانست نجوم را فلج کند. دوم اینکه، گرانش نیوتونی با این اختلاف کاملا ابطال نشده بود، زیرا گرانش نیوتونی ــمانند هر نظریه‌ای در فیزیکــ فقط با کمک آنچه فیلسوفان آن‌ها را فرضیه‌های کمکی[1] می‌نامند، پیش‌بینی می‌کرد: مثلا اینکه کدام سیارات وجود دارند، کجا هستند، چقدر جرم دارند، چه قمرها، سیارک‌ها و ابرهای گرد و غباری ممکن است در اطراف وجود داشته باشند، چه اثرات غیر گرانشی ممکن است موثر باشند، و حتی اینکه تلسکوپ ها و ساعت‌های ما چگونه عمل می‌کنند. بله، تجاوز غیرعادی ممکن بود به دلیل یک مشکل در نظریه گرانش باشد ــاما به همان اندازه ممکن بود به دلیل سیاره دور دیگری باشد که ما از آن اطلاعی نداشتیم. در واقع، می‌توانیم این منطق را برعکس کنیم: با فرض اینکه گرانش نیوتونی درست است، سیاره دیگری باید کجا باشد تا بتواند این ناهنجاری را حل کند؟ وقتی ریاضیدانان این سوال را برای اورانوس پرسیدند و به آن پاسخ دادند و سپس ستاره‌شناسان به آن نقطه از آسمان شب نگاه کردند، سیاره نپتون را دقیقاً در جایی پیدا کردند که باید باشد.

عطارد چطور؟ همین ترفند امتحان شد: اگر سیاره ناشناخته‌ای به خورشید نزدیک‌تر بود، می‌توانست این ناهنجاری را توضیح دهد. این سیاره جدید ولکان[2] نام گرفت؛ هیچ کس نتوانست ولکان را بیابد، اما با توجه به اینکه چنین سیاره‌ای آنقدر به خورشید نزدیک است که در تابش خیره‌کننده‌ی آن، تقریباً نامرئی می‌شود، نیافتن آن دور از انتظار نبود. به گذشته که نگاه کنیم می‌بینیم این پدیده توضیح دیگری دارد: نظریه نسبیت عام اینشتین، یعنی نظریه رقیب گرانش، اختلاف مشاهده شده را بدون نیاز به هیچ سیاره اضافی، دقیقاً پیش‌بینی کرد.

بنابراین با نگاه به گذشته، ظاهرا دو بخش برای رویکرد ابطال دیده می‌شود: یکی پیروزی گرانش نیوتونی بود که نه این نظریه، بلکه فرضیات کمکی ما در مورد

1. Auxiliary Hypotheses
2. Vulkan

منظومه شمسی را ابطال کرد و منجر به کشف سیاره هشتم شد؛ و دیگری یک ابطال واقعی بود که با جایگزینی عمده گرانش نیوتونی با نظریه جدید و بهتری توضیح داده شد. اما تنها با نگاه به گذشته می‌توان این تمایزها را ترسیم کرد: چرا که هیچ چیز غیرمنطقی در مورد ایده ولکان وجود نداشت و هیچ پیشرفتی در روش علمی نمی‌توانست یا نباید به دانشمندان می‌گفت که چنین فرضی نکنند.

هیچ اجماع قاطعی در مورد چگونگی بیان داستان مثبتی از روش علمی که ابطال‌گرایی را بهبود می‌بخشد، وجود ندارد. حتی اجماعی وجود ندارد که اصلاً بتوان چنین کاری کرد. اما مضامین مشترکی در بسیاری از روایت‌ها وجود دارد که برای اهداف ما کافی است. من در اینجا دیدگاه دو فیلسوف، ایمره لاکاتوس و توماس کوهن را مد نظر قرار می‌دهم و از تفاوت‌های بسیار آن‌ها چشم‌پوشی می‌کنم:

۱. ما نباید بر اساس نظریه‌های ایستایی که یک بار برای همیشه حدس زده شده و پس از آن فقط آزمایش می‌شوند، فکر کنیم؛ بلکه به جای آن باید به برنامه‌های تحقیقاتی در حال انجام لاکاتوس یا پارادایم‌های (کوهن) تکیه کنیم. در این موارد، هسته مشترک نظریه برای توضیح پدیده‌ها استفاده می‌گردد و این کار از طریق مجموعه‌ای از فرضیه‌های کمکی انجام می‌شود که می‌توانند برای توضیح شواهد متوالی جمع‌آوری‌شده، تغییر یابند.

۲. برنامه‌های تحقیقاتی دقیقاً از طریق کشف ناهنجاری‌ها که بعدا توضیح داده می‌شوند، پیشرفت می‌کنند. استاندارد طلایی برای چنین توضیحاتی این است که آن‌ها به پیش‌بینی‌های جدیدی منجر می‌شوند که بعدها تأیید می‌گردند (مانند نپتون).

۳. با گذشت زمان، ممکن است ناهنجاری‌های غیرقابل توضیح ایجاد گردد و/یا تغییرات فرضیه‌های کمکی مورد نیاز برای توضیح ناهنجاری‌ها، در ایجاد پیش‌بینی‌های جدید ناموفق شوند. برنامه تحقیقاتی (لاکاتوس) در حال انحطاط است و پارادایم (کوهن) نیز دچار بحران است.

۴. با این وجود، ما به ندرت برنامه تحقیقاتی را رها می‌کنیم، مگر زمانی که رقیب موفق‌تری در دسترس باشد. برنامه‌های تحقیقاتی نه صرفاً در مورد جهان، بلکه

در برابر سایر برنامه‌های تحقیقاتی آزمایش می‌شوند. (تا زمان موفقیت نسبیت عام که یک برنامه تحقیقاتی جدید بود، گرانش نیوتونی ابطال نشد.)

مشکل مرزبندی: معیار علمی بودن چیست؟

بخشی از علاقه‌مندی پوپر به ابطال‌پذیری و روش علمی به این خاطر بود که خودش به آن‌ها علاقه داشت. پوپر به دنبال معیاری بود برای اینکه چه زمانی یک رویکرد برای جمع‌آوری دانش، علم به حساب می‌آید، و این معیار را در الزام ابطال‌پذیری یافت (بنابراین، ظاهراً نه روان‌شناسی فرویدی و نه اقتصاد مارکسیستی، دو مورد اشتباه از نظر وی، علمی به حساب نمی‌آیند). به نظر می‌رسد که فیزیکدانان مدرن اغلب همین کار را می‌کنند: آن‌ها یک سوآل، یا گاهی کل یک رشته فرعی (مانند نظریه ریسمان) یا یک رشته تحصیلی (مانند فلسفه!) رابا معیار «غیرقابل ابطال بودن» و در نتیجه غیرعلمی بودن رد می‌کنند.

در بالا دیدیم که چنین برداشتی به معنای واقعی کلمه، بسیار ساده‌انگارانه است: چرا که به بیان دقیق، هیچ نظریه‌ای به تنهایی قابل ابطال نیست. با این وجود، نکته‌ای در این ایده وجود دارد: به نظر می‌رسد آنچه اهمیت دارد این نیست که یک نظریه، فی‌نفسه ابطال‌پذیر است یا خیر، بلکه این است که آیا شواهدی مبنی بر آن وجود دارد یا نه. بنابراین یک سوآل (مثلا کدام یک از این نظریه‌ها صحیح است؟)، اگر تابع روش‌های علمی باشد که در نهایت بر شواهد استوار هستند، یک سوآل علمی است.

با استفاده از یک مطالعه موردی که اخیرا انجام شده، یعنی بحث در سی و چند سال گذشته درباره وجود ماده تاریک، می‌توانیم ببینیم که چگونه این اتفاق می‌افتد. در کهکشان‌های مارپیچی مانند کهکشان خود ما، ماده مرئی بیشتر به شکل ستاره‌ها و گاز و غبار بین ستاره‌ای وجود دارد و ما می‌توانیم با توجه به توزیع آن ماده، از قانون گرانش نیوتون برای تعیین سرعت چرخش ستارگان در کهکشان استفاده کنیم («منحنی چرخش» کهکشان). از اوایل دهه ۱۹۸۰ مشخص شد که بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری‌شده اختلاف وجود دارد. (جایگزینی گرانش نیوتونی با نسبیت عام اینشتین نیز در اینجا تفاوتی ایجاد نکرده و این ناهنجاری پابرجاست.) هم‌چنین ناهنجاری‌های مشابهی در

مشاهدات مقیاس بزرگتر کل خوشه‌های کهکشانی دیده شد.

توضیح اصلی پیشنهادشده برای این ناهنجاری، به اصطلاح «ماده تاریک» بود؛ ماده‌ای که برای تلسکوپ‌های ما قابل مشاهده نیست و تنها از طریق تأثیر گرانشی‌اش قابل تشخیص است. در مورد ایده ماده تاریک، به خودی خود هیچ چیز عجیبی وجود ندارد: ستارگان قابل مشاهده هستند، زیرا با نور می‌سوزند، و ماده‌ای که خودش روشن نمی‌شود به سختی دیده می‌شود. (سیارات دیگر منظومه شمسی برای یک ناظر در یک منظومه شمسی دور، «ماده تاریک» به حساب می‌آیند، همین امر برای زمین هم تا زمانی که ما شروع به ارسال سیگنال‌های رادیویی و تلویزیونی نکنیم، صادق است.) با این حال، برای توضیح منحنی‌های چرخش، ماده تاریک باید نسبت به ستارگان، گاز و غبار، بسیار بیشتر باشد، که برای چنین توضیحات پیش پا افتاده‌ای، مقداری بسیار بزرگ است. تا به امروز، ما تقریباً هیچ چیز در مورد ماده تاریک نمی‌دانیم و جستجوهای مستقیم آن نیز شکست خورده است.

به همین دلیل، اقلیتی از فیزیکدانان این ایده را بررسی کرده‌اند که اصلا ماده تاریکی وجود ندارد، بلکه در عوض اشتباهی در گرانش وجود دارد. نظریه رقیب آن‌ها به نام ماند[1] (کوتاه‌شده‌ی عبارت اصلاح دینامیک نیوتونی)، موفقیت اولیه قابل توجهی در توضیح منحنی‌های چرخش و حداقل تا حدی در توضیح سایر شواهد ظاهری برای ماده تاریک داشت. در شرایطی که بحث کردیم، ماده تاریک یک فرضیه کمکی در برنامه تحقیقاتی گرانشی موجود است. ماند یک برنامه تحقیقاتی رقیب است.

در حال حاضر حداقل سی سال از عمر این بحث می‌گذرد و راه حل قطعی وجود ندارد، و در آینده هم راه حلی وجود نخواهد داشت، زیرا هیچ مشاهده یا آزمایشی نمی‌تواند هیچ یک از رویکردها را به طور قابل قبولی ابطال کند. اما این بدان معنا نیست که این موضوع فقط سلیقه‌ای است که کدام نظریه را ترجیح دهیم. توضیحات ارائه شده توسط ماند در برخی موارد، ساده‌تر از ماده تاریک است و پدیده‌ها را با اجزای کمتر توضیح می‌دهد، اما در موارد دیگر، پیچیده‌تر و حتی ساختگی است. البته اوضاع تغییر کرده است: مشاهدات جدید نیاز به

1. MOND (Modification Of Newtonian Dynamics)

اصلاحات جدید مدل‌های ماده تاریک و قوانین جدید پیشنهادی ماند داشته‌اند. ارزیابی خود من این است که بیست سال پیش ماند یک رقیب بسیار قابل قبول بود، اما در حال حاضر سطح تدبیر و اصلاحات مورد نیاز برای تناسب با داده‌ها، صحت آن را بعید می‌سازد. ارزیابی اکثر جامعه اخترفیزیک نیز همین است، و به همین دلیل می‌توان کاهش شدید علاقه به ماند را در مقایسه با بیست سال پیش مشاهده کرد. با این حال نتیجه‌ی قطعی به دست نیامده و افراد می‌توانند با هم مخالف باشند و دانشمندان نیز به کار جدی بر روی ماند ادامه می‌دهند. اگر زمانی فرا برسد که یک نتیجه‌ی قطعی برای رد ماند به دست آید؛ آن وقت و تنها در آن صورت، درست است که حمایت از ماند را غیرعلمی بدانیم.

باید تاکید کنم که ماده تاریک/ماند یک مثال نسبتاً افراطی است؛ چرا که دشواری انجام آزمایش‌ها و مشاهدات در این حوزه‌ی اخترفیزیک و کیهان‌شناسی، بسیار سخت‌تر از دیگر حوزه‌های فیزیک است که در آن‌ها تجمع شواهد تجربی معمولاً سریع‌تر و بیشتر است. اما حتی در این حالت افراطی می‌توانیم ببینیم که حل اختلاف‌ها از طریق پیشرفت‌های جدید نظریه‌ها و پیشنهادهای جدید برای مشاهدات، یعنی از طریق ابزارهای علمی قابل تشخیص، پیش می‌رود.

عدم تعین، ابزارگرایی و واقع‌گرایی

اگر قرار باشد بین دو نظریه، یکی را به صورت علمی انتخاب کنیم؛ باید به شواهد تکیه کنیم. اما در مورد وقتی که دو نظریه متمایز، دقیقاً پیش‌بینی‌های مشابهی انجام می‌دهند چطور؟ فیلسوفان این مورد را «عدم تعیُّن[1] نظریه از طریق شواهد» می‌نامند. «مسئله عدم تعین»، مشکل انتخاب بین چنین دو نظریه‌ای است.

سوآل ماده تاریک/ماند، به یک معنا، موردی از عدم تعین است: هیچ آزمایش یا مشاهده‌ای به ما نمی‌گوید که کدام نظریه درست است، زیرا جزئیات نظریه و فرضیه‌های کمکی را می‌توان به روش‌های مختلفی شرح داد تا داده‌های یکسان را توضیح دهند. راه حل ظاهری این مشکل، صرفاً انجام فرآیندهای علمی بیشتر است؛ بنابراین می‌توانیم امیدوار باشیم با گذشت زمان، شواهد به

1. Underdetermination