

فلسفہ فیزیک

سرشناسه: مادلین، تیم، ۱۹۵۸ - م.
عنوان و نام پدیدآور: فلسفه فیزیک: فضا و زمان/تیم مادلین؛ ترجمه رعنا سلیمی.
مشخصات نشر: تهران: ققنوس، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری: ۲۶۱ ص: مصور.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۲۷۸-۳۳۲-۵
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: عنوان اصلی: Philosophy of Physics: Space and Time, c2012
عنوان دیگر: فضا و زمان.
موضوع: Maudlin
شناسه افزوده: سلیمی، رعنا، ۱۳۵۰ -، مترجم
رده بندی کنگره: ۱۳۹۶ ف ۸ م ۶۳۲/BD
رده بندی دیویی: ۵۳۰/۱۱
شماره کتاب شناسی ملی: ۴۶۷۴۲۹۸

فلسفۂ فیزیک

فضا و زمان

تیم مادلین

ترجمۂ رعنا سلیمی



این کتاب ترجمه‌ای است از:

*Philosophy of Physics
Space and Time*

Tim Maudlin

Princeton University Press, 2012



انتشارات ققنوس

تهران، خیابان انقلاب، خیابان شهدای زاندارمیری،

شماره ۱۱۱، تلفن ۴۰ ۸۶ ۴۰ ۶۶

* * *

تیم مادلین

فلسفه فیزیک

فضا و زمان

ترجمه رعنا سلیمی

چاپ اول

۱۱۰۰ نسخه

۱۳۹۶

چاپ شمشاد

حق چاپ محفوظ است

شابک: ۹۷۸ - ۶۰۰ - ۲۷۸ - ۳۳۲ - ۵

ISBN: 978 - 600 - 278 - 332 - 5

www.qoqnoos.ir

Printed in Iran

۱۷۰۰۰ تومان

ترجمهٔ این کتاب را به آقای حسین سلیمانی تقدیم می‌کنم؛
به گواهی مهر و سپاسی ژرف

فهرست

پیشگفتار مترجم.....	۹
سپاسگزاری.....	۱۱
مقدمه: هدف و ساختار کتاب.....	۱۵
۱. روایت‌های کلاسیک فضا-زمان.....	۲۱
تولد فیزیک.....	۲۱
قانون اول نیوتن و فضای مطلق.....	۲۶
زمان مطلق و پایداری فضای مطلق.....	۳۴
متافیزیک فضا و زمان مطلق.....	۳۷
۲. شاهدهی برای ساختارهای فضایی و زمانی.....	۴۳
قانون دوم نیوتن و آزمایش سطل.....	۴۳
حساب، هندسه و دستگاه‌های مختصات.....	۵۲
تقارن‌های فضا و مباحثات لایب‌نیتس و کلارک.....	۶۵
۳. حذف ساختار مشاهده‌ناپذیر.....	۸۳
سرعت مطلق و نسبیت گالیله‌ای.....	۸۳

- ۹۲..... فضا- زمان گاليله‌ای
- ۱۰۷..... ۴. نسبیت خاص
- ۱۰۷..... نسبیت خاص و فضا- زمان مینکوفسکی
- ۱۲۰..... پارادوکس دوقلوها
- ۱۲۹..... راست لبه مینکوفسکی، پرگار مینکوفسکی
- ۱۳۴..... بنا کردن مختصات لورنتس
- ۱۵۹..... ۵. فیزیک اندازه‌گیری
- ۱۵۹..... فرضیه ساعت
- ۱۶۹..... افزایش انتزاعی و افزایش فیزیکی
- ۱۷۸..... تغییرناپذیری سرعت نور
- ۱۸۳..... توصیفات عمیق‌تر اصول فیزیکی
- ۱۸۵..... ۶. نسبیت عام
- ۱۸۵..... فضای خمیده و فضا- زمان خمیده
- ۱۹۲..... تبیین هندسی در غیاب گرانش
- ۲۰۵..... سیاه‌چاله‌ها و انفجار بزرگ
- ۲۱۲..... مباحثه حفره
- ۲۲۰..... مطالب خواندنی پیشنهادی درباره نسبیت عام
- ۲۲۱..... ۷. جهت و توپولوژی زمان
- ۲۲۱..... هندسه زمان
- ۲۳۳..... مشکل فنی سفر زمان
- ۲۳۹..... جهت زمان
- ۲۴۵..... پیوست: چند مسئله در فیزیک نسبیتی خاص
- ۲۵۵..... منابع
- ۲۵۹..... نمایه

پیشگفتار مترجم

با گذر زمان و پیشرفت علم فیزیک در شاخه‌های مختلف، این علم به‌وفور درگیر ریاضیات و فرمول‌ها شده است به طوری که دیگر کمتر به معنای هستی‌شناسانه نظریه‌های فیزیک توجه می‌شود. بی‌شک علم فیزیک بیش از علوم دیگر در ارتباط با طبیعت است و به همین دلیل باید نظریه‌های فیزیک را به صورت ملموس درک کرد و به‌ویژه اهمیت این نظریه‌ها برای شناخت هرچه بیشتر هستی ایجاب می‌کند که به مفاهیم فیزیک و نیز مباحث فلسفی آن توجه خاص شود. متأسفانه در کشور ما کمتر به مفاهیم فیزیک توجه شده است و درس فیزیک برای دانش‌آموزان اغلب سنگین و مبهم است. مثلاً، کمتر دانش‌آموزی را می‌توان یافت که قوانین نیوتن یا سرعت نسبی را به‌خوبی درک و احساس کرده باشد و این امر میان دانش‌آموز و علم فیزیک همیشه فاصله‌ای ایجاد کرده است. البته شاید نتوان به یک دبیر فیزیک هم چندان خرده گرفت، زیرا وی در مدت زمانی کوتاه باید مطالب زیادی را تدریس کند و برای این همه مطلب نیز زمان کافی برای آزمایش و تجربه در نظر گرفته نشده است. سیل عظیم کتاب‌های تستی و نکات کنکوری و طرفداران بی‌شمار آن‌ها در سال‌های اخیر گواه این مطلب است که هرچه بیشتر از درک مفاهیم فیزیکی دور

می‌شویم، حال آن‌که تعداد انگشت‌شماری خواهان کتابی مثل تاریخچهٔ زمان یا فیزیک و واقعیت هستند. در واقع، علم فیزیک و فلسفهٔ علم دریچه‌ای به رویمان می‌گشاید تا با رموز هستی آشنا شویم. با جستجویی کوتاه در اینترنت می‌توان کتاب‌های بی‌شماری دربارهٔ فلسفهٔ علم پیدا کرد که مدام بر شمار آن‌ها افزوده می‌شود و یکی از دیگری جذاب‌تر است، اما همه نیک آگاهییم که در کشور ما کتاب‌های فلسفهٔ علم بسیار اندک‌اند و ما همچنان از این قافله عقب‌تر می‌مانیم. اگر در کشور ما کتاب‌های بسیار اندکی در زمینهٔ فلسفهٔ علم تألیف شده است، لااقل بر ماست که با ترجمهٔ آثاری از این دست از دانش‌دیگران بهره‌مند شویم. کتابی که پیش روی دارید دربارهٔ مباحث فلسفی فضا و زمان در فیزیک است و پرفسور تیم مدلین، نویسندهٔ کتاب، استاد فلسفه در دانشگاه نیویورک، در مقدمه کتاب را به تمام و کمال معرفی کرده است.

بدون شک هیچ‌کس نمی‌تواند ادعا کند عاری از خطاست و من نیز چنین ادعایی ندارم، لیکن بسیار خرسند خواهم شد چنانچه خوانندگان گرامی ضعف‌ها و نقص‌های کتاب حاضر را به اینجانب منعکس کنند. در پایان لازم است از کلیهٔ کسانی که در ترجمهٔ این کتاب یاری‌ام داده‌اند صمیمانه سپاسگزاری کنم؛ از مادر عزیزم که پیوسته مرا حمایت کرده و برادر ارجمندم احمد سلیمی که ایده و پیشنهاد ترجمهٔ این کتاب را داده است، مراتب قدردانی و سپاس را به عمل می‌آورم. همچنین از جناب آقای امیر حسین زادگان، ریاست محترم انتشارات ققنوس، و کارکنان این انتشارات، که امکان انتشار این کتاب را فراهم نمودند، بی‌نهایت تشکر و قدردانی می‌کنم.

سپاسگزاری

ماجرای این کتاب به زمانی برمی‌گردد که دانشجوی دکترا بودم و کلارک گلیمور،^۱ از سر لطف، با درخواست دانشجویان دکترای فلسفه و تاریخ علم برای تدریس سمینارهای یک‌ساله دربارهٔ نسبیت در دانشگاه پیت،^۲ موافقت کرد. بدون ارائهٔ مستمر آن سمینارها و معرفی تمام و کمال روش‌های ریاضی جدید، نمی‌توانستم به نظریه‌ای بیندیشم که در اصل به روش هندسی باشد. سمینارهای جان نورتون^۳ این پس‌زمینهٔ تاریخی را فراهم کرد که به زمان نیوتن بازگردیم و سمینارهای پیتر ماچامر^۴ به سوی گالیه راهنمایی‌مان کرد. جان ارمان^۵ و نورتون قبلاً مباحثهٔ حفره را به روشنی بیان کرده بودند و در آن زمان کاملاً با آن معمای شگفت‌آور آشنا شدم. در مجموع، این کتاب حاصل یک ربع قرن بازتاب ایده‌های بسیاری است، که نیروی حیات‌بخش سمینارهای ذکر شده بود.

وقتی در سال ۱۹۸۶ به دانشگاه راتگرز^۶ آمدم، دوستی و همکاری با

1. Clark Glymour

۲. Pitt مخفف Pittsburgh (پیتسبورگ) است. - م.

3. John Norton 4. Peter Machamer 5. John Earman

6. Rutgers University

رابرت وینگارد^۱ برایم سعادت‌ی بسیار بزرگ بود. حس کنجکاوی و صداقت فکری او همیشه گفتگوهای لذت‌بخشی به همراه داشت و از دانش عمیق او در فیزیک بهره‌مند شدم. این کتاب با مهر و سپاس ژرف به وی تقدیم می‌شود.

به شکل‌های مختلف مدیون بسیاری از دانشجویانم هستم؛ دانشجویان کارشناسی و مقاطع بالاتر، که در طی این سال‌ها سعادت تدریس به آنان را داشته‌ام. نظریهٔ فضا-زمان ارائه‌شده در این کتاب، حین کلاس‌های بسیار، به تدریج تکامل یافته است. در ابتدا آن را به شکل استاندارد، یعنی با استفادهٔ فراوان از دستگاه‌های مختصات و تبدیلات دستگاه مختصات، بیان کردم. به تدریج و مرحله به مرحله، در بازیابی مستقیم را به روی هندسهٔ مقدماتی گشودم و از دستگاه‌های مختصات کمتر استفاده کردم. به‌ویژه، نسبت تا اندازه‌ای نامتعارف بیان شده است اما (گوش شیطان کر) به لحاظ مفهومی واضح است. امیدوارم لااقل خواننده دچار سردرگمی‌هایی که برای غلبه بر آن‌ها مجبور بوده‌ام با آن‌ها دست و پنجه نرم کنم، نشود.

اظهارنظرها و انتقادهای از بسیاری جهات باعث بهبود نسخهٔ دست‌نویس شد. به‌ویژه، از دو داور ناشناس که نسخهٔ اولیه را به‌دقت مطالعه کرده‌اند، سپاسگزارم. امیدوارم نسخهٔ نهایی کتاب را در مقایسه با نسخهٔ اولیهٔ آن کامل‌تر ببابند. سین کارول^۲ اصرار داشت که در نسبت عام تمام جزئیات را بیاورم که درخواست معقولی بود و فصل شش با پیشنهاد او بسیار کامل شد. آدام الگا^۳ و گروه مطالعاتی فلسفهٔ علم دانشگاه نیویورک نظراتی سودمند ارائه کردند. برت سوئیت^۴ خستگی‌ناپذیر با دقت و توجه، که ویژگی بارز اوست، جزئیات و محاسبات را مطالعه کرد.

1. Robert Weingard 2. Sean Carroll 3. Adam Elga 4. Bert Sweet

از اسکات سومز،^۱ راب تمپیو^۲ و انتشارات دانشگاه پرینستون نیز سپاسگزارم که اجازه دادند کتاب تک‌جلدی فلسفه فیزیک در دو جلد منتشر شود. تک‌جلدی بودن کتاب ایجاب می‌کرد که از برخی مطالب چشمپوشی شود و این امر ضعف‌هایی داشت که باعث تأسف بود. از فراهم شدن یک ترم فرصت مطالعاتی در دانشگاه راتگرز تشکر می‌کنم، این فرصت مطالعاتی زمان لازم برای تکمیل نسخه دست‌نویس را در اختیارم قرار داد.

سرانجام، مثل همیشه، مشغله ذهنی ویشنیا مادلین^۳ خیلی بیشتر از مشغله ذهنی کسی بوده است که در نوشتن یک کتاب همکاری می‌کند. او در کلاس و در خانه همواره حضور داشته است و با روی باز به بحث و انتقاد می‌پرداخت و به روشن شدن مطالب کمک می‌کرد. نمی‌توانم تصور کنم که به‌تنهایی از عهده انجام این کار برمی‌آمدم. بدون وی این امر میسر نبود.

مقدمه: هدف و ساختار کتاب

کل واقعیت فیزیکی ای که با روش عمومی سودمندی بررسی می شود، به فلسفه فیزیک مربوط است. مثلاً، دنیای فیزیکی با جنبه های فضایی و زمانی نمایان می شود، بنابراین وجود و ماهیت فضا و زمان (یا فضا-زمان) مبحثی اساسی است. به طور مشابه، ماده، یعنی خمیرمایه ای که میزها، صندلی ها و سیارات از آن ساخته می شوند، نیز مبحثی اساسی است. منظورم از «با روش عمومی» این است که عمومی ترین سؤال درباره ماده آن است که ماده چه نوع چیزی است. مثلاً، ممکن است تصور کنیم ماده از ذرات نقطه مانند، میدان ها، ریزمان های یک بعدی یا ترکیباتی از این ها یا کلاً از چیز دیگری ساخته شده باشد. هر یک از این توصیف های عمومی که در نظر گرفته شوند، پرسش های دقیق تر دیگری مطرح می شوند: چند نوع میدان وجود دارد، جرم ذرات چقدر است و پرسش هایی از این قبیل. ما به جای پرسش های دقیق تر به عام ترین پرسش ها می پردازیم.

فلسفه فیزیک شاخه ای از فیزیک است که به معنی واقعی کلمه با فیزیک مرتبط است. انواع سؤال هایی که می کنیم در زمره سؤال هایی است که فیزیکدان ها می پرسند و همچنین در زمره سؤال هایی است که

نظریه‌های فیزیکی به لحاظ تاریخی کوشیده‌اند تا به آن‌ها پاسخ دهند. اما بخش شگفت‌آوری از فیزیک می‌تواند بدون جواب این سؤال‌ها پیش رود. مثلاً، در ابتدا هدف علم ترمودینامیک، همان‌طور که از نامش پیداست، به دست دادن محاسبات دقیق ریاضی برای چگونگی انتشار گرما در سرتاسر یک شیء^۱ و از یک شیء به شیء دیگر بود. با این همه، می‌توانیم تمام جزئیات حاکم بر معادلات شارش گرما را درک کنیم بی آن‌که بدانیم گرما چیست. آیا گرما (مطابق نظریهٔ کالری) سیالی است که جزء به جزء از شیئی خارج می‌شود و در شیء دیگری جریان می‌یابد، یا (طبق نظریهٔ جنبشی) نوعی حرکت است که به موجب برهم‌کنش از جسمی به اجسام دیگر منتقل می‌شود؟ اگر برای همهٔ شما مهم باشد که بدانید چقدر طول می‌کشد تا یک میلهٔ آهن ۲۰ پوندی با دمای 200°F که در یک بشکهٔ بزرگ آب با دمای 50°F غوطه‌ور شده است تا دمای 100°F خنک شود، با معادلات شارش گرما می‌توان به این سؤال جواب داد. اما این جواب دربارهٔ ماهیت اساسی گرما به معلومات شما چیزی اضافه نمی‌کند. برای کارگر ذوب‌آهن ماهیت گرما پیشیزی ارزش ندارد و به طور مشابه برای فیلسوف فیزیک زمان دقیق سرد شدن آهن چندان اهمیت ندارد. برای فیزیکدان تجربی، همان‌طور که انتظار می‌رود، هم ماهیت گرما و هم محاسبات ترمودینامیکی حائز اهمیت است اما ممکن است، در مواقع مختلف، روی یکی از آن‌ها بیشتر تمرکز کند. یکی از ویژگی‌های آموزش فیزیک معاصر آن است که زمان خیلی بیشتری صرف یادگیری نحوهٔ حل معادلات و یافتن جواب تجربی برای کارگر ذوب‌آهن

۱. شایان ذکر است که در این کتاب با لغاتی مواجه می‌شویم که هم معنای فیزیکی و هم معنای فلسفی دارند، مثلاً object که در فیزیک به معنی شیء و در فلسفه به معنی ایژه است. در این موارد ترجمهٔ لغت با توجه به بافت جمله انتخاب شده است، بسته به این‌که معنای فیزیکی یا فلسفی مد نظر باشد. -م.

می‌کند به جای این‌که دربارهٔ دیگر پرسش‌های «فلسفی» مربوط به ماهیت گرما، یا ماهیت فضا و زمان، یا ماهیت ماده بحث کند. این پرسش‌های اساسی‌تر دانشجویان فیزیک را شگفت‌زده می‌کند و چون در کلاس‌های درس به این‌گونه پرسش‌ها توجه نمی‌شود آن‌ها سرخورده می‌شوند. این مجلد هم به فیلسوفان علاقه‌مند به واقعیت فیزیکی و هم به دانشجویان فیزیک تقدیم می‌شود.

فلسفهٔ فیزیک به سه بخش تقسیم شده که در دو جلد منتشر شده است. هر یک از این دو جلد را می‌توان مستقل از دیگری خواند. اما از موضوعات خاصی در هر دو جلد صحبت می‌شود که عمده‌ترین آن‌ها ضرورت توصیف کاملاً فیزیکی از روش‌های «اندازه‌گیری» است، بنابراین ارزش آن را دارد که این دو جلد به ترتیب خوانده شوند. جلد اول به ماهیت فضا و زمان می‌پردازد و تاریخچهٔ مختصری از مباحث پیرامون فضا و زمان از فیزیک کلاسیک (نیوتن) تا نسبیت عام را شرح می‌دهد. در فیزیک، سرگذشت جهان فیزیکی در فضا و زمان (یا اخیراً، فضا-زمان) ادامه می‌یابد. اما خودِ فضا و زمان وجودهای مبهمی هستند. دنیای فیزیکی خود را به شکل مجموعه‌ای از امور و وقایع در فضا به ما می‌نماید که از حیث زمانی هم‌زمان با هم زندگی می‌کنند یا در پی یکدیگر می‌آیند. اما خودِ فضا و زمان بر حواس ما پدیدار نمی‌شوند: آن‌ها هیچ رنگ، طعم، صدا، بو یا شکل عینی‌ای ندارند. در عوض به نظر می‌رسد فضا و زمان ساختار هندسی دارند. ما نظریه‌های گوناگون را بررسی خواهیم کرد در این باره که این ساختار دقیقاً چیست و چه چیزی دارد. در درجهٔ اول، نظریهٔ نسبیت نظریه‌ای در باب هندسهٔ فضا-زمان معرفی می‌شود. نسبیت خاص با جزئیات کافی شرح داده می‌شود به طوری که مشکلات خاص مربوط به رفتار ساعت‌ها و اشیای صلب در دنیایی نسبی‌گرایانه برطرف می‌شود. نسبیت عام با موشکافی کمتری

ارائه می‌شود. هدفم این بوده است که، با توجه ویژه به این‌که چگونه کاربرد دستگاه‌های مختصات در فیزیک به ساختار هندسی زیربنایی وابسته است، پایه‌های مفهومی این نظریه‌ها را کاملاً واضح بیان کنم.

جلد دوم با نظریه ماده شروع می‌شود. در بخش اول این جلد نظریه معاصر ماده، یعنی نظریه کوانتوم، ارائه می‌شود. برخلاف نسبیت، فیزیکدان‌ها در مورد نحوه درک نظریه کوانتوم اختلاف نظر دارند. در واقع، خود عبارت «نظریه کوانتوم» نامگذاری درستی نیست؛ چنین نظریه‌ای وجود ندارد. به جای آن یک فرمالیسم ریاضی و چند قاعده (کاملاً کارآمد) تجربی وجود دارد در این باره که برای انواع خاصی از پیش‌بینی‌ها چگونه از این فرمالیسم استفاده کنیم. این‌جاست که تفاوت بین کارگر ذوب آهن و فیلسوف فیزیک بیشتر مشهود می‌شود. کارگر ذوب آهن (یا فیزیکدان در قالب کارگر ذوب آهن) به ماهیت واقعیت فیزیکی اهمیت ویژه نمی‌دهد: کافی است محاسبه کند که از آزمایش‌های مختلف چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود. به نظر فیلسوف فیزیک واقعیت زیربنایی حائز اهمیت است و به پیش‌بینی‌ها فقط تا آن‌جا اهمیت می‌دهد که بتوانند شاهدهی باشند بر این‌که کدام توصیف از واقعیت زیربنایی درست است. در این بخش برخی از نظریه‌های رقیب درباره ماهیت ماده بررسی می‌شوند. این نظریه‌ها در بخش زیادی از ریاضیات نظریه کوانتوم مشترک‌اند اما، با وجود این، توصیفشان از آنچه وجود دارد از اساس متفاوت است.

اگر جلد اول درباره فضا-زمان و بخش اول جلد دوم درباره محتویات مادی فضا-زمان است، ظاهراً چیز دیگری برای بحث کردن باقی نمی‌ماند. آیا ما بر همه مشکلات فائق نیامده‌ایم؟ به تعبیری بله، فائق آمده‌ایم، زیرا در اصل نظریه فضا-زمان و نظریه ماده تمام پدیدارهای جهان فیزیکی را، در سطحی بنیادین، توضیح می‌دهد. با وجود این،

پدیده‌های فیزیکی‌ای وجود دارند که با مجموعه مفاهیم دیگری غیر از مفاهیم خاص نظریه فضا-زمان و نظریه کوانتوم بهتر درک و تبیین می‌شوند. مثالی شایان توجه در این زمینه ترمودینامیک است. اگرچه پدیده‌های ترمودینامیکی در اصل چیزی جز حرکت‌های ماده در فضا-زمان نیستند، با وجود این، نوع خاصی از بینش، درک یا تبیین مستلزم تحلیل آن‌ها به کمک ابزارهای مفهومی مکانیک آماری است. همین مفاهیم بر پیدایش احتمالات در فیزیک، الگوهای آماری رفتار، و برگشت‌ناپذیری ظاهری یا تقارن زمانی بسیاری از پدیده‌ها پرتو می‌افکنند. بررسی‌های ما درباره رابطه میان ترمودینامیک، آنتروپی، مکانیک آماری و برگشت‌ناپذیری مثالی به دست می‌دهند از این‌که حتی وقتی وجودشناسی بنیادین و قوانین آن قبلاً شناخته شده باشند، چگونه می‌توان شناخت‌های جدیدی از پدیده‌های فیزیکی به دست آورد.

مطالعات کتاب‌های وجودشناسی جانبدارانه است. موضوعاتی بسیار متنوع و فضایی بسیار کم وجود دارد به طوری که نمی‌توان حق مطلب را در مورد تمام نظریه‌های فیزیکی و مواضع فلسفی، که در باب این موضوعات پیشنهاد شده است، به جا آورد و من هم تظاهر به چنین کوششی ندارم. در عوض، مجموعه‌ای محدود از رهیافت‌های بدیل را در نظر گرفته‌ام، که به‌نظر روشن و آموزنده می‌رسند. رهیافت‌هایی که تصور می‌کنم خوش‌آبیه‌ترین و موجه‌ترین رهیافت‌ها باشند و بی‌پروا از آن‌ها دفاع می‌کنم. چنین نگاهی به موضوع عاری از غرض نیست. اما امیدوارم گزینشی که از طرح‌های پیشنهادی به عمل آورده‌ام نشان دهد که چه می‌شود که یک نظریه فیزیکی واضح و فهم‌پذیر می‌شود. متأسفانه، معیارهای واضح بودن و دقیق بودن پرسش‌های اساسی در فیزیک بسیار پایین آمده است و فیزیکدان‌ها عادت کرده‌اند (و حتی تشویق شده‌اند) که فقط «کمتر حرف بزنند و بیشتر محاسبه کنند» تا آن حد که از مطرح کردن

پرسش درباره اهمیت هستی‌شناسانه نظریه‌هایشان آگاهانه خودداری می‌کنند. این نگرش به قدری رواج یافته است که به راحتی نادیده می‌گیریم که شرح روشن و دقیق واقعیت فیزیکی اصلاً به چه می‌ماند. در هر حال، اعم از آن‌که به نظریه‌های فیزیکی‌ای که درباره آن‌ها بحث خواهیم کرد جذب شوید یا نشوید (و نظریاتی که برای بیشتر فیزیکدان‌ها ناخوشایند است)، امیدوارم لااقل فهم‌پذیری آن‌ها را دریابید. خواه این نظریه‌ها درست یا نادرست، بخردانه یا نامعقول باشند، می‌دانیم درباره دنیای فیزیکی چه ادعایی دارند. اگر قرار است هر آینه جهانی را که در آن زندگی می‌کنیم بشناسیم، فیزیکدان‌ها و فیلسوف‌ها باید خواستار چنین درک روشنی باشند.

روایت‌های کلاسیک فضا-زمان

تولد فیزیک

سنت فکری‌ای که فیزیک نظری مدرن را به وجود آورد از دوران یونان باستان آغاز می‌شود. اخترشناسان بابلی و مصری اطلاعاتی زیاد و دقیق دربارهٔ موقعیت‌های مشاهده‌پذیر خورشید و سیارات تدوین کردند و مدل‌هایی ریاضیاتی به وجود آوردند که با آن‌ها می‌شد پدیده‌هایی مانند ماه‌گرفتگی و خورشیدگرفتگی را پیش‌بینی کرد. اما فیلسوفان طبیعت یونانی خطی جدید از نظریه‌پردازی نظرورزانه را وارد این عمل مربوط به مشاهده کردند. مثلاً، طالس،^۱ آناکساگوراس^۲ و دموکریتوس^۳ هر یک

1. Thales

۲. Anaxagoras: اخترشناسی مادی‌گرا بود. او دریافت که ماه همیشه رو به خورشید است و نتیجه گرفت که ماه سرد است و درخشندگی آن تنها از نوری است که باز می‌تاباند. وی اهل ماه، گرفت‌های ماه و خورشید را نیز به درستی تفسیر کرده است. -م.

۳. Democritus: پیرو مکتب اتم‌گرایی بوده است. این مکتب با لئوکیپوس آغاز شد، دموکریتوس آن را ساخته و پرداخته کرد، ارسطو به آن حمله برد و اپیکور آن را از نو طرح

درباره ساختار نهایی ماده نظریه‌هایی دادند: این‌که همهٔ اشیای مادی از آب نشئت گرفته‌اند، یا این‌که همه مخلوطی از خاک، هوا، آتش و آب هستند یا این‌که اشیا ترکیبی از کثرتی نامتناهی از اتم‌هایی هستند که اشکال متفاوت به خود گرفته‌اند. در نتیجه، رفتار قابل مشاهدهٔ ابژه‌های آشنا بر حسب این ساختار مادی تشریح شده بود. به عقیدهٔ دموکریتوس، چیزهای شیرین از اتم‌های صاف و گرد و چیزهای ترش از اتم‌های زاویه‌دار تشکیل شده‌اند و الی آخر. این عقیده که خواص و رفتار ملموس اشیای بزرگ را باید به کمک ساختار و ماهیت بخش‌های نامرئی آن‌ها تبیین کرد تا به امروز در بنیان فیزیک نهفته است.

ارسطو^۱ برای این کار نظرورزانه نامی در نظر گرفت. عبارت «فیزیک» برگرفته از متنی از ارسطو به نام فوسیکه آکرواسیس^۲ است که به معنی درس‌گفتارهایی در باب طبیعت است. در یونان، فوسیک^۳ به طبیعت هر چیز اشاره دارد و ارسطو طبیعت یک ابژه را سرچشمهٔ درونی حرکت و سکونش تعریف می‌کند که در وهلهٔ اول و حقیقتاً، و نه به طور تصادفی، به خود آن ابژه تعلق دارد (20-23² 192). بنابراین به عقیدهٔ ارسطو طبیعت هر ابژه‌ای این‌گونه آشکار می‌شود که وقتی کاملاً به حال خود رها شده باشد، چگونه حرکت می‌کند و از حرکت باز می‌ایستد. سنگی را بدون اعمال فشار به آن در هر جهت در هوا رها کنید، (ظاهراً) سنگ به میل خود به طرف پایین حرکت می‌کند. حباب هوای داخل مخزن آب

نمود. نظریهٔ اتمی یونانیان باستان سپس به فراموشی سپرده شد، تا آن‌که در سدهٔ هفدهم الهام‌بخش علم گشت و به شکل جدیدی مطرح شد و بعدها مدارکی در تأیید وجود اتم‌ها به دست آمد. اتم‌گرهای یونان باستان بر این باور بودند که همهٔ اشیا از اتم‌ها تشکیل شده‌اند و اتم‌ها تجزیه‌ناپذیر و فنانشدنی هستند و تقریباً در فضای خالی در تمام جهات حرکت می‌کنند. آن‌ها انواع مختلفی دارند که بر اساس اختلاف شکل از هم متمایز می‌شوند و کوچک‌تر از آن هستند که با حواس تشخیص داده شوند. -م.

خودبه‌خود بالا می‌آید. سنگ و حبابِ هوا را فقط تحت تأثیر عاملی خارجی می‌توان به انجام کارهای دیگری وادار کرد. تمایلات ذاتی آن‌ها به حرکت و سکون ناشی از عوامل بیرونی نیست و بنابراین باید برخاسته از همان طبیعت خودشان باشد.

ارسطو در تعریف طبیعتِ ابژه‌ها بلافاصله فیزیک را به پروژهٔ تبیین شیرینی و ترشی ربط نمی‌دهد. در عوض، او به طور عام روی تغییر و به طور خاص روی جابه‌جایی تأکید می‌کند. ارسطو معتقد بود که انواع مختلف ماده حرکت‌های طبیعی متفاوتی دارند، بنابراین برای توصیف این حرکت‌های طبیعی به روشی نیاز داشت تا حرکت را به طور کلی توصیف و دسته‌بندی کند. او با شهودی‌ترین تعریف‌های موجود آغاز کرد. حرکت طبیعی عنصر خاک سقوط یا، به عبارتی، حرکت به سمت پایین است. آب نیز مانند خاک ولی با شوقی کمتر تلاش می‌کند به سمت پایین حرکت کند. سنگی که در آب سقوط می‌کند گرایش طبیعی شدیدش را برای فرود آمدن به نمایش می‌گذارد. آتش مانند هوا، ولی با شدت کمتر، به طور طبیعی بالا می‌رود، همان‌طور که هرکس که آتش‌بازی‌ای را تماشا کرده باشد این امر را تصدیق می‌کند.

کاملاً درست و بجاست اگر بگوییم که سنگ به طور طبیعی سقوط می‌کند، یا رو به پایین حرکت می‌کند، اما منظور از «رو به پایین» دقیقاً چیست؟ این جاست که ارسطو عقاید رایج را رها می‌کند و اصل موضوعهٔ نظری خود را مطرح می‌کند. طبق نظر ارسطو، حرکت رو به پایین، حرکت به طرف یک مکان خاص است. در این دیدگاه، حرکت طبیعی زمین هدفمند است. علی‌الخصوص، سنگ می‌خواهد به مکانی برسد و همیشه حرکت خودبه‌خودی‌اش آن را به این هدف غایی نزدیک‌تر می‌کند. به نظر ارسطو، مکان خاصی که سنگ برای رسیدن به آن تلاش می‌کند مرکز جهان است. ارسطو می‌پنداشت که همهٔ عالم مادی به شکل

کره‌ای است که سطح خارجی آن شامل ستارگان ثابت است. سپهر سماوی مرکزی یگانه دارد. جهت «پایین» در هر مکانی در جهان، به سمت آن نقطه مرکزی است و طبیعت هر ذره خاک به گونه‌ای است که اگر مانعی وجود نداشته باشد، در یک خط راست به سمت مرکز پایین می‌رود تا این‌که به هدف برسد و اگر تمام مسیر به سمت مرکز را طی کند، آن وقت بالطبع متوقف خواهد شد.

به طور مشابه، «بالا» جهتی در فضا است که مستقیماً به دوری از مرکز اشاره دارد. آتش و هوا به طور طبیعی در خطوط مستقیم تا آن‌جا که بتوانند به سمت بالا حرکت می‌کنند و اگر رقابت کنند، آتش از هوا پیشی می‌گیرد. به عقیده ارسطو، اگر عالم تحت‌القمر (آن بخش از جهان که زیر مدار ماه قرار دارد) کاملاً آزاد، به حال سکون رها شود، خاک، هوا، آتش و آب، همه به طور طبیعی به چهار کره هم‌مرکز مجزا می‌شوند: خاک خالص در مرکز، به نوبت، توسط پوسته‌های کروی هم‌مرکزی شامل آب، سپس هوا و بعد آتش محاصره می‌شود. ارسطو معتقد بود با تخمینی خیلی تقریبی از دنیا، زمین سنگلاخ کروی به طور وسیعی با اقیانوس‌ها پوشیده شده و با هوا احاطه شده است.

ماه و خورشید و سیارات با این طرح مطابقت ندارند، بنابراین ارسطو ماده پنجمی ابداع کرد، عنصر پنجمی به نام اثير.^۱ اثير برخلاف خاک، هوا، آتش و آب، به طور طبیعی در یک خط راست به سمت هدف حرکت نمی‌کند. حرکت طبیعی اثير حرکت دایره‌ای یکنواختی حول مرکز است. سپهر ستارگان ثابت به کامل‌ترین شکل این حرکت را انجام می‌دهد که (تا آن‌جا که ارسطو می‌دانست) این سپهر با نظم کامل می‌چرخد، تقریباً هر ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه (یک روز نجومی) یک چرخش کامل انجام می‌دهد.

بقیه اجسام ماوراء‌القمر، یعنی ماه و خورشید و سیارات، چنین نظمی ندارند. آن‌ها همچنان که توسط سپهر ستارگان ثابت حمل می‌شوند، خودشان حرکت‌های دوره‌ای پیچیده‌تری نیز دارند. پس از آن‌که حالت طبیعی حرکت اثر حرکت دایره‌ای یکنواخت تشخیص داده شد، ارسطو برای اخترشناسان نسل‌های بعد مسئله‌ای را به جای گذاشت: محاسبه حرکت‌های ظاهری خورشید، ماه و سیارات بر مبنای اثر ترکیب حرکت‌های دایره‌ای یکنواخت مختلف. این گرفتاری اساسی راجع به نظریه نجومی به قوت خود باقی ماند تا زمانی که کپلر در سال ۱۶۰۹ دو قانون اولش درباره حرکت سیارات را مطرح کرد.

متأسفانه، حتی یک شرح به طرز عجیبی ناکافی از تاریخچه فیزیک و اخترشناسی فراسوی چارچوب و محدوده کتاب حاضر است. اما ابداع ارسطو، یعنی تمرکز او بر جابه‌جایی^۱ طبیعی به عنوان نخستین مبحث فیزیک، در شکل‌گیری آن تا امروز مؤثر بوده است. در وهله نخست، کار ما آن است که بفهمیم «جابه‌جایی» دقیقاً چیست.

معنی عبارت «جابه‌جایی» از ظاهرش پیداست. صرف هر تغییری جابه‌جایی نیست مگر تغییر مکان^۲ (جایگاه).^۳ و به نظر ارسطو مکان موقعیتی در جهانی فضایی با شکلی بسیار خاص، یعنی کروی، است. چون جهان ارسطو کروی است به لحاظ هندسی یک مرکز مشخص دارد و ارسطو برای توصیف حرکت‌های طبیعی انواع مختلف ماده مرکز این کره را مرجع در نظر می‌گیرد. [حرکت] «به طرف بالا»، «به طرف پایین» و «حرکت دایره‌ای یکنواخت» همه بر حسب مرکز جهان تعریف می‌شوند. اگر جهان ارسطو کروی شکل نبود، فیزیک ارسطو ممکن نبود تدوین شود.

اهمیت توصیف فضا در فرمول‌بندی فیزیک اغراق‌آمیز نیست. اگر فیزیک بیش از هرچیز دربارهٔ حرکت است و حرکت تغییر مکان است، پس (به نظر می‌رسد) باید مکان‌هایی وجود داشته باشند که اشیای مادی بتوانند متوالیاً اشغال کنند. شیئی که در تمام مدت مکانی را اشغال کند ساکن است، مانند سنگ ارسطو در مرکز جهان. بهتر است بگوییم بدون چنین فضایی، که اشیاء در آن حرکت می‌کنند، فیزیک حتی به وجود نمی‌آمد. ارسطو مفهوم فضا و مفهوم حرکت ملازم آن را همان‌طور برمی‌گزیند که همهٔ ما به طور شهودی به کار می‌بریم. او درمی‌یابد که فیزیکِ او برای داشتن ساختاری خاص – هدفی معین که اشیای در حال سقوط آن را دنبال می‌کنند – به این فضا نیاز دارد و هندسهٔ فیزیکی‌ای را پیش‌فرض قرار می‌دهد که این ساختار را فراهم کند. این نتیجه‌گیری که جهان کروی و محدود است امروزه برای ما ناآشناست اما برای هر یونانی عهد باستان کاملاً آشنا بوده است.

به طور خلاصه، فضا عرصهٔ حرکت است و، بنابراین، در هر نظریهٔ علمی دربارهٔ حرکت توصیف فضا نقشی اساسی بازی می‌کند. دست کشیدن از جهان کروی ارسطو مستلزم دست کشیدن از اصول فیزیکی اساسی او و تفکر مجدد دربارهٔ فرمول‌بندی قوانین فیزیک است. این وظیفه را اسحاق نیوتن بر عهده گرفت.

قانون اول نیوتن و فضای مطلق

اگر فیزیک ارسطو را در قالب اصول موضوعه درمی‌آوردیم، برای گونه‌های مختلف ماده اصول موضوعه متفاوت می‌بود: «خاک، بدون وجود مانع، در خطی راست به سمت مرکز جهان حرکت می‌کند» و «اثیر، بدون وجود مانع، حول مرکز جهان، به شکل دایره‌ای یکنواخت حرکت می‌کند.» اما نیوتن فیزیک را در قالب مجموعه‌ای از اصول موضوعه بیان

کرد و آن‌ها را قوانین حرکت نامید. بخش زیادی از نظریه او در این قوانین جای می‌گیرد و اگر بگوییم هر آنچه لازم است درباره فیزیک نیوتنی بدانیم در قانون اول حرکت او تلویحاً ذکر شده است، چندان اغراق نکرده‌ایم.

قانون اول: هر جسم بر حالت خودش، سکون یا حرکت یکنواخت در یک خط راست، پایداری می‌کند مگر زمانی که تحت تأثیر نیروهایی مجبور به تغییر حالتش شود.^۱

این قانون بی‌نظیر جهان ارسطو را ویران ساخت.

اول آن‌که، قانون نیوتن بر هر جسمی، اعم از سنگ‌ها و سیارات، به یک شکل حاکم است. نیوتن تفاوت بین اخترشناسی و فیزیک زمینی را از بین می‌برد و مجموعه اصول واحدی را پیش‌فرض قرار می‌دهد که رفتار هر دو را توضیح می‌دهد. آن‌قدر عادت کرده‌ایم که فیزیک را با این جهان شمولیت در نظر بگیریم که درک اهمیت حیاتی این دگرگونی مستلزم تلاش است. یکی از نقاط اوج در ساختار استدلالی اصول^۲ زمانی است که محاسبات نیوتن نشان می‌دهد نیرویی که ماه را در مدارش به دور زمین نگه می‌دارد دقیقاً مشابه نیرویی است که موجب سقوط یک سیب از درخت می‌شود. نیوتن اشتراک در ساختار فیزیکی را پیش‌فرض قرار می‌دهد در حالی که فیزیکدان‌های ماقبل او ساختارهای فیزیکی را از اساس گوناگون پنداشته بودند.

مهم‌تر آن‌که، نیوتن، برخلاف ارسطو، هیچ حرکت طبیعی خاصی به اجسام نسبت نمی‌دهد. در عوض، قانون لختی حاکی از گرایش ذاتی هر جسم به باقی ماندن در حالت حرکتش، هر حالتی که باشد، است. برخلاف

۱. ترجمه مؤلف.

توصیف ارسطو، که مثلاً یک سنگ به سمت مرکز جهان هدایت می‌شود، [از نظر نیوتن] در جهان هیچ مکانی وجود ندارد که هر جسمی به طور ذاتی به آن سو جهت یابد. نظریه نیوتن مستلزم آن نیست که فضا نقطه مرکزی خاصی داشته باشد.

عرصه حرکت برای نیوتن ترجیحاً موجودیتی است که او آن را فضای مطلق می‌نامد. به عقیده نیوتن، حرکت تغییر جا در این فضا است. نقش فضای مطلق در نظریه نیوتن بسیار عمیق و فراگیر است به طوری که سر درآوردن از هرچه او می‌نویسد بدون پذیرفتن وجود فضای مطلق غیرممکن به نظر می‌رسد. ما خواص گوناگون فضای مطلق را بررسی و جنجالی‌ترین ادعاها را به بعد موکول می‌کنیم.

ابتدا نیوتن فرض می‌کند که فضای مطلق ساختار هندسی سه‌بعدی فضای اقلیدسی را دارد. ما این ساختار را E^3 در نظر می‌گیریم. E^3 ، برخلاف جهان فیزیکی ارسطو، در همه جهات نامحدود است و بنابراین هیچ مرکز هندسی‌ای ندارد. شکل‌ها در E^3 از اصول هندسه اقلیدسی پیروی می‌کنند. مثلاً، مجموع زاویه‌های داخلی هر مثلث برابر دو زاویه قائمه است.

در مباحث بعدی، بهتر است چندین نوع مختلف ساختار هندسی را، که یک سلسله مراتب را شکل می‌دهند، از یکدیگر متمایز کنیم. هر سطح، متناسب با یکی از سه ابزار مداد، خط کش غیرمدرج^۱ و پرگار مورد استفاده در هندسه اقلیدسی است. فضاها چه نوع ساختار هندسی‌ای باید داشته باشند تا هر یک از این ابزارها بتوانند کار کنند؟

بنیادی‌ترین سطح ساختار هندسی در هر فضا توپولوژی^۲ آن نامیده

1. straightedge

۲. توپولوژی همان مکان‌شناسی یا قیاس به مکان است که اولین بار آنری پوانکاره (۱۸۵۴-۱۹۴۲)

می‌شود. توپولوژی هر فضا قوانین پیوستگی را تعیین می‌کند. مثلاً وقتی برای ترسیم یک نمودار اقلیدسی از مواد استفاده می‌کنیم، مجاز هستیم خطوطی پیوسته در فضا ترسیم کنیم: اگر گاه و بی‌گاه مداد را برداریم و بعد دوباره آن را جای دیگری بگذاریم، آنچه رسم می‌شود یک خط منفرد است، ولی یک خط منفرد همبند پیوسته نخواهد بود. اما برای آن‌که در فضا بین یک خط منفرد و دو خط ناهمبند تفاوت وجود داشته باشد، نقاط در فضا باید انسجامی هندسی داشته باشند. این سطح از انسجام توپولوژی فضا است.

گاهی اوقات توپولوژی را «هندسهٔ صفحهٔ لاستیکی»^۱ می‌نامند و این نام به معنی دقیق کلمه یادآورنده است. تصور کنید تعدادی شکل روی صفحه‌ای لاستیکی ترسیم شوند و سپس این صفحه بدون پاره شدن یا چسبیدن کشیده شود. بر اثر این تغییر شکل‌ها، بسیاری از خواص اشکال تغییر می‌کنند. مثلاً، خطوط راست ممکن است خمیده شوند و به صورت خطوط منحنی درآیند. نقاط نزدیک به هم از هم دور شوند، به طوری که فاصلهٔ آن‌ها بیشتر شود. یک مثلث به آرامی به یک دایره تغییر شکل می‌یابد و چیزهایی از این قبیل. اما برخی از ویژگی‌های اشکال تغییر نخواهند کرد: اگر دو خط قبل از تغییر شکل یکدیگر را قطع کرده باشند، بعد از آن نیز متقاطع خواهند بود؛ اگر قبل از تغییر شکل نقطه‌ای داخل شکل بسته‌ای باشد و نقطهٔ دیگر خارج از آن، پس از آن نیز همین‌گونه خواهد بود و الی‌آخر. تغییر شکل‌ها نباید فضا را پاره کنند یا چسبانند و

^۱ (۱۹۱۲) در مقاله‌ای با عنوان «آنالیز مکان» آن را مطرح و پس از آن پیشرفت‌های بسیار کرد و تاکنون در شکل دادن به ریاضیات نقش بسزایی داشته است. می‌توان گفت توپولوژی نوعی هندسه است که در آن خواص مهم یک شکل خواصی است که با حرکت‌های پیوسته حفظ شوند. هنگام صحبت از توپولوژی یکی از چیزهایی که به ذهن می‌آید نوار موبیوس است که فقط یک سطح و یک لبه دارد. - م.

توپولوژی سطح ساختار هندسی ای است که «پاره کردن» یا «چسباندن» را تعریف می‌کند. پاره کردن برخی از خطوط پیوسته را به پاره‌های گسسته تقسیم می‌کند و چسباندن خطوط گسسته را به هم متصل می‌کند تا خطوط پیوسته حاصل شود. اگر فضایی توپولوژی نداشته باشد، تمایزی میان ترسیم یک تک‌منحنی پیوسته و چندین منحنی ناهمبند وجود نخواهد داشت، بنابراین حتی ساختارهای اقلیدسی به وجود نمی‌آیند.^۱

دومین ابزار هندسه اقلیدسی راست‌لبه^۲ است (نکته: منظور خط‌کش نیست؛ راست‌لبه خط‌کشی است که درجه‌بندی ندارد). با یک خط‌کش غیرمدرج و یک مداد می‌توان نه فقط خطوط پیوسته بلکه خطوط راست را نیز ترسیم کرد. دو اصل موضوعه اول هندسه اقلیدسی مربوط به کاربرد خط‌کش غیرمدرج است و بنابراین ادعاهایی تلویحی درباره ساختار خطوط راست در فضای اقلیدسی دارند. دو اصل موضوعه اول، به‌ویژه، بیان می‌کند که:

۱. از هر نقطه به نقطه دیگر می‌توان یک خط راست ترسیم کرد.

۲. هر خط راست محدود را می‌توان بی‌وقفه در یک مسیر مستقیم امتداد داد.^۳

برای آن‌که این اصول موضوعه حکمفرما باشند، قبل از هرچیز باید تفاوتی بین خطوط راست و خطوط دیگر در فضا وجود داشته باشد. این تفاوت، که با توپولوژی معلوم نمی‌شود، با ساختار مُستوی^۴ فضا معلوم

۱. در ریاضیات جدید توپولوژی هر فضا بر حسب ساختار مجموعه‌باز فضا مشخص و پیوستگی بر حسب مجموعه‌های باز تعریف می‌شود. من معتقدم که چنین توصیفی از پیوستگی، و بنابراین توپولوژی، واضح‌ترین راه برای توصیف ساختار هندسی ذاتی فضا-زمان نیست و روشی دیگر جایگزین شده است (برای شرح مختصر به Maudlin [2010] مراجعه شود). این‌جا جای بحث درباره این موضوع نیست.

2. straightedge

۳. ترجمه مؤلف.

4. affine structure