مقالهٔ کلاسید

پس از ارسال مجله به چاپخانه، با نهایت تأسف اطلاع یافتیم که آقای دکتر علی‌آبادی مترجم این مقاله که از چهره‌های فعال فلسفهٔ علم در ایران بودند بدرود زندگی گفته‌اند.

حال و آیندهٔ فیزیک ریاضی

هانری پوانکاره

ترجمهٔ یوسف صمدی‌علی‌آبادی

در حال حاضر فیزیک ریاضی در چه وضعیتی قرار دارد؟ مسائلش چیستند؟ آینده‌اش چه خواهد بود؟ آیا جهت‌گیری این علم در معرض تغییر قرار گرفته است؟ آیا ده سال بعد نیز این موضوع و روش آن در نظر جانشینان ما به همان صورتی جلوه خواهند کرد که امروز در نظر ما جلوه‌گرند؟ یا اینکه شاهد تغییراتی گسترده و فراگیر در آن خواهیم بود؟ اینها سؤالاتی هستند که ذهن ما را هنگام شروع بحث در بارهٔ موضوع به خود مشغول می‌دارند.

پرسش آسان است، جوابگویی مشکل. حتی اگر وسوسه می‌شدیم تا در این خصوص دست به پیش‌بینی زنیم، لحظه‌ای تأمل ما را به‌راحتی از این کار وامی‌داشت. تصور کنید که اگر از برجسته‌ترین محققان صد سال پیش سؤال می‌شد که در قرن نوزدهم فیزیک ریاضی چه وضعیتی پیدا خواهد کرد، در جواب چه مهملاتی تحویل می‌دادند. جسارتی که به آنان جرأت می‌داد در پیش‌بینی آینده این علم ذره‌ای تردید روا ندارند، چه زود تبدیل به خجالت می‌شد. بنابراین از من انتظار نداشته باشید که دست به پیش‌گویی زنم.

اما اینکه مانند هر پزشک محتاطی از دادن «پیش‌آگهی» در این‌باره پرهیز می‌کنم، مانع از این نمی‌شود که به خود اجازهٔ یک «تشخیص» مختصر بدهم. خوب پس، آری؛ نشانه‌هایی در دست‌اند که حکایت از یک بحران عمیق دارند و در حال حاضر به نظر می‌رسد باید منتظر یک دگرگونی بنیادی باشیم. لیکن دلیلی برای نگرانی عظیم وجود ندارد. می‌توان مطمئن بود که بیمار را خطر فوت تهدید نمی‌کند: برعکس حتی می‌توان امید داشت که این بحران شفابخش هم باشد زیرا تاریخ گذشته ظاهراً این امید را تضمین می‌کند. درواقع، اول بار نیست که چنین بحرانی پدید آمده است، و برای اینکه بتوانیم آن را بهتر درک نماییم، بد نیست به بحرانهایی که قبل از این روی داده‌اند نظری بیفکنیم. اجازه دهید چند مورد تاریخی را به اختصار مرور کنم.

همان‌طور که همه به‌خوبی اطلاع داریم فیزیک ریاضی زاییدهٔ مکانیک سماوی است، و در پایان قرن هیجدهم، هنگامی که این شاخه از علم به اوج تکامل خود رسیده بود، از آن متولد گردید. نوزاد، خصوصاً در سالهای اولیهٔ عمر، شباهت چشمگیری به مادر داشت.

جهان اخترشناسان از اجرامی تشکیل می‌شود که بدون شک از مقادیر عظیمی برخوردارند؛ لیکن فواصل میان این اجرام آنقدر زیاد است که موجب می‌شود اینان در ظاهر چون نقطه‌هایی مادی جلوه نمایند. این نقاط یکدیگر را به نسبت عکس مجذور فاصله جذب می‌کنند و این جاذبه تنها نیرویی است که بر حرکت آنها اثر می‌گذارد. اما چنانچه حواس ما از چنان حساسیتی برخوردار می‌بودند که بتوانند تمامی جزئیاتی را که فیزیکدانان از اجسام مدنظر دارند به ما نشان دهند، آنگاه چشم‌اندازی که در برابر دیدگانمان به نمایش درمی‌آمد به دشواری از آنچه مورد تعمق اخترشناسان قرار می‌گیرد قابل تمیز

این مقالهٔ متن سخنرانی هانری پوانکاره در تاریخ ۲۴ سپتامبر ۱۹۰۴ در گردهمایی بخش ریاضیات کاربردی کنگرهٔ بین‌المللی هنر و علم در شهر سینت لوئیس آمریکاست که نخست در بولتن انجمن ریاضی آمریکا در سال ۱۹۰۶ به چاپ رسیده و در شمارهٔ ژانویهٔ ۲۰۰۰ آن مجله تجدید چاپ شده است. متن اصلی به فرانسه بوده و یانگ (J. W. Young) آن‌را به انگلیسی برگردانده است. ترجمهٔ فارسی از متن انگلیسی صورت گرفته است. شایان ذکر است که مقالهٔ معروف اینشتین در بارهٔ نسبیت خاص در سال ۱۹۰۵ به چاپ رسید.

می‌بود. در آنجا هم با نقاطی مادی روبه‌رو می‌شدیم که فواصلشان بس عظیمتر از ابعاد آنهاست و مدارهایی را تعریف می‌کنند که از قوانین منظم تبعیت می‌نمایند. این ستاره‌های بینهایت ریز، اتمها هستند. اینها هم همانند ستاره‌های واقعی یکدیگر را جذب یا دفع می‌کنند و این جذب و دفع، که در راستای خطی که آنان را به یکدیگر متصل می‌سازد صورت می‌گیرد، تنها به فواصلِ میانشان بستگی دارد. شاید قانونی که بر تغییرات این نیرو به نسبت فواصل حاکم است، همان قانون نیوتن نباشد، اما حتماً چیزی شبیه آن خواهد بود. به‌جای توان ۲− احتمالاً توانهای دیگری خواهیم داشت و از تنوع این توانها، تکثر تمامی انواع پدیده‌های فیزیکی نشأت خواهند گرفت: یعنی تنوع کیفیات و تأثرات حسی، تمامی جهان رنگ و صوتی که ما را در میان گرفته است؛ در یک کلام، تمامی طبیعت.

آنچه گذشت شرح اندیشه‌ای است ابتدایی آن‌هم در ساده‌ترین شکل آن. آنچه باقی می‌ماند تنها یافتن مقادیری است که در هر مورد مشخص باید برای این توان منظور نمود تا از مجموعهٔ آنها تمام واقعیات توضیح خود را پیدا کنند. برای مثال، لاپلاس براساس چنین طرحی نظریهٔ زیبای خود در باب نیروی موئینگی را طرح‌ریزی کرد. در نظر وی این نیرو را می‌توان به‌سهولت موردی خاص از جاذبه، یا به قول خودش «جاذبهٔ عمومی»، به‌حساب آورد و احدی هم از اینکه این نظریه در اواسط یکی از مجلدات پنج‌گانهٔ مکانیک سماوی‌اش گنجانده شده است، تعجبی به خود راه نمی‌دهد. در دورانی نزدیکتر به ما، هنگامی که بریو[1] ثابت کرد اتمهای اتر یکدیگر را با عکس توان ششمِ فواصلشان جذب می‌کنند، بر آن بود که سِرِ آخرین رمز اپتیک [نورشناسی] را گشوده است؛ مگر ماکسول، بله خود ماکسول، در جایی ادعا نکرده بود که اتمهای یک گاز یکدیگر را متناسب با عکس توان پنجم فواصلشان دفع می‌کنند؟ در هر یک از این موارد، سخن از توان ۶− یا ۵− به‌جای ۲− است. لیکن صحبت کماکان بر سر یک توان است.

در میان نظریه‌های این دوران البته یک استثناء هم وجود دارد و آن نظریهٔ فوریه است. در اینجا با اتمهایی روبه‌رو می‌شویم که حقیقتاً از دور بر یکدیگر اثر می‌گذارند، اما اثر آنها به‌صورت ارسال حرارت تحقق می‌پذیرد و نه جذب یکدیگر؛ یعنی موجبات برهم‌زدن ترتیب اتمها را فراهم نمی‌آورد. به همین دلیل نظریهٔ فوریه می‌بایست در انظار معاصرین وی، و حتی خودش، ناقص و موقتی جلوه کرده باشد.

در اندیشه‌ای که صحبت از آن بود بارقه‌ای از عظمت نهفته است؛ فریبنده است و بسیاری از ما آن‌را رها نکرده‌ایم. ما می‌دانیم عناصری که شالودهٔ اشیا را تشکیل می‌دهند، دُم به تله نمی‌دهند مگر اینکه با صبر و حوصله از بندبند کلاف درهم‌تنیده‌ای که دستگاههای حسی در اختیارمان قرار داده‌اند، گره‌گشایی شود. پیشرفت را باید قدم به قدم حاصل نمود بدون اینکه در میانهٔ راه چیزی به غفلت از نظر دور بماند. اینکه پدران ما در این حرکت تعجیل به خرج دادند و نخواستند در کلیهٔ منازل توقفی نمایند، از روی نابخردی بوده است؛ لیکن آنها واقعاً معتقد بودند که با دستیابی به عناصر بنیادی بار دیگر شاهد همان سادگی با شکوهی خواهند بود که زمانی در مکانیک سماوی تحقق پیدا کرده بود.

علاوه بر این، اندیشهٔ موردنظر خالی از فایده نیز نبوده است؛ تا آنجا که این اندیشه به امر تدقیق مفهوم بنیادی قانون فیزیکی دامن زده، خدمتی بس گرانبها به ما کرده است. اجازه دهید توضیح دهم: در دوران باستان چه برداشتی از مفهوم قانون وجود داشت؟ اینکه قانون حاکی از توازنی است درونی، ایستا و تغییرناپذیر؛ یا اینکه الگویی است که طبیعت باید همواره از آن تقلید کند. این تلقی دیگر به هیچ‌وجه در میان ما رواجی ندارد؛ نزد ما قانون رابطه‌ای است ثابت میان پدیده‌های امروز و پدیده‌های فردا؛ در یک کلام، قانونْ معادله‌ای دیفرانسیل است.

در اینجا ما با شکل مطلوب قانون فیزیکی روبه‌رو می‌شویم؛ و به راستی این قانون نیوتن بود که برای بار اول چنین هیأتی را برای قانون معین کرد. اگر بعداً فیزیک به این برداشت از قانون خوگرفت دلیلش دقیقاً این است که با الگو قرار دادن مکانیک سماوی، سعی بر آن شد تا هر کجا که امکانش وجود داشته است، این قانون نیوتنی مورد تقلید قرار گیرد.

علی‌رغم تمام اینها، روزی فرا رسید که مفهوم نیروهای مرکزی کفایت خود را در ظاهر امر از دست داد، و این اولین بحران، از بحرانهایی بود که لحظاتی پیش به آنها اشاره نمودم.

در مقابله با این وضع چه تدبیری اندیشیده شد؟ این فکر که جزئیات عالم را باید فقط از طریق مجزاکردن اجزاء این دستگاه عظیم و تحلیل یکایک نیروهایی که در به‌کار انداختن آن دخالت دارند، مورد کنکاش قرار داد، دیگر منسوخ شده بود. در عوض همگان به این رضا دادند که تعدادی اصول کلی را به‌عنوان راهنما برگزینند، اصولی که نقش آنها دقیقاً فارغ نمودن ما از رنج انجام چنین پژوهش پردردسری باشد. اما این امر چگونه امکان‌پذیر است؟ فرض کنید ماشینی، فرق نمی‌کند از چه نوعی، در مقابل ما قرار گرفته است؛ تنها آن بخشهایی از این ماشین قابل رؤیت‌اند که اختصاص به ورود نیرو به آن و حرکت نهایی حاصل از آن دارد. سایر بخشها که شامل ارتباطات درونی دستگاه می‌شوند و از طریق آنها حرکت از یک قسمت به قسمتی دیگر انتقال پیدا می‌کند، کاملاً از نظر پنهان می‌باشند. ما نمی‌دانیم انتقال نیرو در داخل این ماشین توسط چرخ‌دنده صورت می‌پذیرد یا با کمک تسمه، میل‌لنگ یا ابزاری دیگر. آیا باید گفت که ممکن نیست بتوانیم پی به طرز کار این ماشین ببریم مگر آنکه به ما اجازه دهند اوراقش کنیم؟ خوب می‌دانید که چنین نیست و تنها با استفاده از اصل بقای انرژی می‌توانیم به آنچه می‌خواهیم، در بارهٔ این ماشین دسترسی پیدا کنیم. فرض کنید با مشاهدهٔ طرز کار قسمتهای مرئی این ماشین متوجه شویم که مثلاً چرخ واقع در ورودی آن ده بار از چرخ واقع در خروجی‌اش تندتر می‌چرخد؛ آنگاه می‌توان از این امر نتیجه گرفت که جفت‌نیرویی که به چرخ اول وارد می‌شود با ده برابر جفت‌نیرویی که به چرخ آخر وارد می‌آید معادل است. برای تحصیل این نتیجه به‌هیچ وجه لزومی نداشته است که طرق عملی برقراری این تعادل را بررسی کنیم؛ یا اینکه دریابیم نیروهایی که در بخشهای درونی این ماشین عمل می‌کنند چگونه با یکدیگر در تعامل قرار می‌گیرند. تنها کافی است خود را مجاب سازیم که غیرممکن است چنین تعادلی برقرار نشود.

بسیار خوب! در مورد جهان هم اصل بقای انرژی می‌تواند همین خدمت را به ما بکند. این جهان هم خود یک ماشین است، بسیار پیچیده‌تر از دستگاههایی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند، و تقریباً کلیه اجزایش نیز از انظار عمیقاً پنهان‌اند. لیکن با مشاهدهٔ حرکات آن بخشهایی که به

1. Briot

رؤیت درمی‌آیند، قادریم با استفاده از این اصل نتایجی به‌دست آوریم که اعتبار خود را، علی‌رغم جزئیاتی که در عملکرد قسمتهای نامرئی وجود دارند، همواره حفظ می‌کنند.

اصل بقای انرژی، یا اصل مایر[1] مطمئناً مهمترین اصل است، اما تنها اصل نیست: اصول دیگری هم هستند که می‌توانیم با به‌کارگرفتن آنها همین ثمرات را به‌دست آوریم. اینها عبارت‌اند از:

اصل کارنو، یا اصل اتلاف انرژی.

اصل نیوتن، یا اصل برابری عمل و عکس‌العمل.

اصل نسبیت، که بر طبق آن قوانین حاکم بر پدیده‌های فیزیکی در نظر مشاهده‌گری ساکن و در نظر مشاهده‌گری که در حال حرکت انتقالی با سرعتی ثابت است باید یکی باشند، یعنی هیچ وسیله‌ای در دست نیست و نمی‌تواند باشد، تا با تمسک به آن بتوانیم معین کنیم آیا ما در حال چنین حرکتی قرار داریم یا نه.

اصل بقای جرم، یا اصل لاوازیه. به اینها من اصل کمترین کنش را نیز اضافه می‌کنم.

به کارگرفتن این پنج یا شش اصل در بارهٔ پدیده‌های متنوع فیزیکی کفایت می‌کند تا آنچه را که می‌توان به نحوی معقول انتظار داشت، یاد بگیریم. برجسته‌ترین نمونهٔ این فیزیک ریاضی جدید، بدون شک، نظریهٔ ماکسول در بارهٔ طبیعت الکترومغناطیسی نور است. اتر چیست؟ مولکولهای آن چگونه توزیع شده‌اند؟ آیا آنها یکدیگر را جذب می‌کنند یا دفع؟ در بارهٔ این موارد هیچ نمی‌دانیم. اما همین‌قدر می‌دانیم که محیط اتری اغتشاشات الکتریکی و نوری را منتشر می‌سازد؛ ما می‌دانیم که انتشار این اغتشاشات باید با تبعیت از اصول کلی مکانیک صورت پذیرد و همین برای وضع معادلات میدان الکترومغناطیسی کفایت می‌کند.

این اصولْ تعمیماتی جسورانه از نتایج آزمایش‌اند؛ اما به نظر می‌رسد که صرفِ عمومیت این اصول درجه‌ای اعلا از قطعیت به آنها بخشیده باشد. درواقع هر چه عمومیت بیشتر باشد، فرصتهایی که برای ارزیابی حقانیت آنها در دسترس قرار می‌گیرند، مکررتر خواهند بود و انباشت این‌گونه آزمونها، به‌خصوص اگر در اشکالی هر چه متنوعتر و غیرمنتظره‌تر تحقق پذیرد، در نهایت جایی برای شک و تردید باقی نخواهد گذارد.

این بود مقطع دوم از تاریخ فیزیک ریاضی که ما هنوز آن‌را پشت سر نگذاشته‌ایم. آیا شایسته است بگوییم مقطع اول بی‌ثمر بوده است و علم طی پنجاه سال در مسیر غلطی راه می‌پیموده و حال نیز هیچ نتوان کرد جز به فراموشی سپردن آن همه زحمت که به دلیل تبعیت از نگرشی مخدوش از همان آغاز محکوم به شکست بوده است؟ ابداً! آیا تصور می‌کنید دوران دوم می‌توانست بدون پشت‌سر داشتن دوران اول پا به عرصهٔ وجود گذارد؟ فرضیهٔ نیروهای مرکزی تمام اصولی را که گذشت در دل نهفته دارد؛ آن اصول هر یک از نتایج ضروری این فرضیه هستند. فرضیهٔ نیروهای مرکزی نه تنها اصل بقای انرژی را شامل می‌شود، بلکه اصول بقای جرم، برابری عمل و عکس‌العمل، و قانون کمترین کنش را نیز دربرمی‌گیرد، اصولی که به نظر می‌رسد نسبت به حقانیت آنها، نه به‌عنوان واقعیاتی که از تجربه کسب شده باشند، بلکه همچون قضایای ریاضی، شک و تردیدی وجود نداشته باشد. حتی نحوهٔ بیان این اصول در آن دوران، تا آنجا که من می‌دانم، چه از حیث دقت و چه از حیث عمومیت، چیزی از طرزی که امروزه بیان می‌شوند، کم ندارد.

این فیزیک ریاضیِ پدرانمان بود که ما را تدریجاً با این اصول مختلف آشنا نمود و به ما آموخت چگونه هر یک را از ورای حجاب متفاوتی که آن‌را در خود پوشانده است، تشخیص دهیم. اکنون این اصول با دستاوردهای تجربی مقایسه شده‌اند و متوجه شده‌ایم که برای تطبیق هر چه بیشتر آنها با واقعیات، لازم است طرز بیان‌کردنشان را تغییر دهیم. بدین ترتیب، آنها گسترش یافته و تقویت شده‌اند و از این طریق مقامی همچون حقایق تجربی کسب نموده‌اند. حال دیگر فرضیهٔ نیروهای مرکزی برای آنها به حامی بیفایده‌ای مبدل شده است؛ یا بهتر بگوییم، تا بدانجا که این فرضیه خصلت فرضی بودن خود را بر این اصول تحمیل می‌نماید، به قیدوبند دست و پاگیری مبدل شده است.

پس حریمها شکسته نشده‌اند، زیرا که انعطاف‌پذیر بوده‌اند، بلکه گسترش پیدا کرده‌اند. زحمات پدران ما که آنها را تثبیت کردند به هدر نرفته است و ما در علم امروز می‌توانیم ویژگیهای عامی را که آنها ترسیم کرده بودند، به‌روشنی تشخیص دهیم.

آیا اکنون در آستانهٔ ورود به دوران سومی قرار داریم؟ آیا بحران دومی در شرف وقوع است؟ آیا این اصولی که ما همه چیز را برگُرده آنها برافراشته بودیم، خود در معرض فروپاشی قرار گرفته‌اند؟ این سؤالی است که اخیراً جنبه‌ای حیاتی پیدا کرده است.

شنیدن سخنان من حتماً شما را به فکر رادیوم، این انقلابی بزرگ زمان ما، می‌اندازد. من به این موضوع باز خواهم گشت، لیکن اول می‌خواهم چیز دیگری بگویم. اینجا تنها پای اصل بقای انرژی در میان نیست؛ تمامی اصول دیگر، همان‌طور که از مرور یکایک آنها برخواهد آمد، در معرض خطر یکسانی قرار دارند.

بگذارید اول از اصل کارنو شروع کنم. این تنها اصل از اصول ذکرشده است که به نظر نمی‌رسد نتیجهٔ بی‌واسطهٔ فرضیهٔ نیروهای مرکزی بوده باشد؛ درست برعکس، به نظر می‌رسد اگر نگوییم در تناقض با این فرضیه قرار دارد، لااقل هماهنگ ساختنش با آن کوشش قابل توجهی را می‌طلبد. اگر تمامیِ پدیده‌های فیزیکی منحصراً معلول حرکات اتمها می‌بودند، که برهم‌کنش‌های آنها تنها به فواصلشان بستگی دارد، آنگاه در ظاهر امر همه این پدیده‌ها می‌بایست برگشت‌پذیر باشند. اگر تمامی سرعتهای اولیه تغییر جهت می‌دادند، این اتمها، تا آنجا که تحت تأثیر فقط همین نیروها قرار می‌داشتند، می‌باید مسیر حرکت خود را در جهتی خلاف آنچه که فی‌الواقع طی می‌کنند، تغییر دهند؛ همان‌طور که فی‌المثل چنانچه شرایط اولیهٔ حرکت زمین عکس آن می‌شد که درواقع بوده است، زمین می‌باید همان مدار بیضی‌شکل را که در حال حاضر طی می‌کند، در جهت عکس طی کند. بنابراین، برای هر پدیدهٔ فیزیکی ممکنی پدیدهٔ عکس آن نیز می‌باید به همان شکل ممکن باشد و ما باید بتوانیم سیر گذر زمان را در جهت عکس آن هم طی کنیم. اما در طبیعت چنین نیست و این دقیقاً همان نکته‌ای است که اصل کارنو به ما می‌آموزد؛ گرما از گرم به‌سوی سرد جریان می‌یابد و غیرممکن است بتوان آن‌را وادار به طی طریق در عکس این جهت نمود و تغییرات حرارتی را که وقوع پیدا کرده و از میان رفته‌اند دوباره برقرار ساخت. حرکت می‌تواند تماماً

1. Mayer

از میان برود و در اثر اصطکاک تبدیل به گرما شود: عکس این تبدیل فقط می‌تواند به‌صورتی ناقص تحقق پیدا کند.

برای از میان برداشتن این تناقض ظاهری کوششهایی چند صورت گرفته‌اند. اگر جهان همواره به سوی یکنواختی میل می‌کند به این علت نیست که اجزاء بنیادی آن، در عین متنوع بودن در آغاز، رفته‌رفته تنوع خود را از دست می‌دهند؛ علتش این است که در اثر حرکاتی کاملاً تصادفی، با یکدیگر مخلوط می‌شوند. در منظر دیدگانی که توانایی تشخیص تمامی این عناصر را داراست، تنوع پیوسته حفظ می‌شود: هر ذره از این گرد، اصالت خویش را کماکان نگه می‌دارد و خود را به هیأت همسایه‌اش نمی‌آراید؛ لیکن هر چه این اختلاط بیشتر و بیشتر به حد کمال خود نزدیک شود، دستگاههای نادقیق حسی ما تنها یکنواختی را درک می‌کنند. به همین دلیل است که برای مثال، حرارتها به‌سوی برابری میل می‌کند بدون آنکه امکانی برای بازگشت وجود داشته باشد.

فرض کنیم یک قطره شراب به داخل لیوانی پر از آب می‌افتد؛ صرف‌نظر از اینکه چه حرکاتی درون این مایع صورت می‌پذیرند، به‌زودی متوجه می‌شویم که مایع به‌گونه‌ای یکدست رنگی متمایل به صورتیِ کمرنگ به‌خود می‌گیرد و از آن پس ممکن نیست بتوان با تکان‌دادن لیوان، شراب را از آب جدا کرد. پس در اینجا با شکلی از بازگشت‌ناپذیری مواجه می‌شویم که مختص پدیده‌های فیزیکی است: پنهان ساختن یک حبه جو در میان تلی از گندم بسیار کار آسانی است، اما اینکه پیدایش کنیم و آن‌را باز برداریم عملاً امکان‌ناپذیر است. تمام اینها را ماکسول و بولتسمان توضیح داده‌اند، اما کسی که آن‌را به روشنترین وجهی به بیان آورده است گیبس[1] در کتابش به نام اصول مقدماتی مکانیک آماری است، کتابی که کمتر خوانده می‌شود زیرا مطالعهٔ آن کمی دشوار است.

کسانی که به این ملاحظات با نظر مساعد می‌نگرند، اصل کارنو را اصلی ناکامل به‌حساب می‌آورند که تنها ناظر بر ضعف قوای حسی ماست. دلیل اینکه نمی‌توانیم عناصر متشکله را در یک مخلوط از یکدیگر تمیز دهیم این است که چشمان ما حساسیت کافی ندارند؛ زمختی دستان ما نیز سبب می‌شود نتوانیم آنها را برای جداکردن این عناصر به‌کار گیریم. دیوخیالی ماکسول که قادر است مولکولها را از یکدیگر، یک‌به‌یک، سوا کند به سهولت می‌تواند دنیا را به بازگشت وا دارد. اینکه دنیا به میل خود روی به بازگشت کند امر محالی نیست؛ تنها بینهایت کم‌احتمال است: احتمالاً زمانی بس طولانی لازم خواهد بود تا مجموعه‌ای از شرایط که مجوز چنین بازگشتی را فراهم می‌آورند، تحقق پیدا نمایند؛ لیکن دیر یا زود، با گذشت سالهایی که رقم آنها ممکن است از میلیونها فراتر رود، چنین شرایطی متحقق خواهند شد. این‌گونه شک و تردیدها در مورد اصل کارنو هیچگاه از حد ملاحظات صرفاً نظری فراتر نرفت و طبعاً نگرانیهای زیادی را نیز موجب نگردید. به همین علت نیز این اصل توانست تمامی ارزشهای عملی خود را کماکان حفظ کند.

اما اکنون صحنه عوض شده است. مدتهاست که زیست‌شناسان با استفاده از میکروسکوپ متوجه شده‌اند که در بعضی از محلولهای آزمایشگاهی حرکات نامنظمی توسط ذرات ریز معلق صورت می‌پذیرند که آن را «حرکت براونی» می‌نامند. در آغاز براون تصور می‌کرد آنچه مشاهده کرده است پدیده‌ای حیاتی است اما به زودی متوجه شد که ذرات بیجان نیز با همان شدت و حدت به این سو و آن سو می‌جهند، پس مسأله را به فیزیکدانان واگذار کرد. متأسفانه فیزیکدانان تا مدتها این مسأله را در خور مداقهٔ جدی نیافتند. استدلال ایشان هم این بود که چنین رویدادی معلول استفاده از نور متمرکزی است که برای به‌کار گرفتن میکروسکوپ لازم است: از آنجا که نور گرما دارد، و این امر موجب تغییر در حرارت محلول می‌گردد، این تغییرات باعث تولید جریانهایی در درون مایع می‌شوند که حرکات فوق‌الذکر را پدید می‌آورند.

گوئی[1] به صرافت افتاد در این مطلب تعمق بیشتری کند و به این نتیجه رسید که توضیح بالا قابل دفاع نیست. وی متوجه شد که هر چه ذرات ریزتر باشند حرکاتشان نیز شدیدتر است به‌طوری که نحوهٔ تابش نور هیچ تأثیری بر آنها ندارد. برای مقابله با مسأله‌ای که این‌گونه حرکات مطرح می‌کنند، یعنی اینکه هرگز متوقف نمی‌شوند، یا بهتر بگوییم بدون وام‌گیری از هیچ‌گونه منبع بیرونیِ انرژی بلاانقطاع تجدید می‌گردند، چه باید اندیشید؟ مطمئناً روا نیست که تنها به خاطر این پدیده دست از اصل بقای انرژی برداریم. اما با چشمان خود می‌بینیم که حرکت تبدیل به گرما می‌شود و گرما نیز بالعکس موجب حرکت می‌گردد، بدون اینکه در این تبدیلات چیزی ضایع شود زیرا که حرکت مستمراً تداوم دارد. این پدیده ناقض اصل کارنو است. اگر این‌طور باشد دیگر لازم نخواهد بود چشمانی بینهایت نافذ همچون چشمان دیو ماکسول در اختیار داشته باشیم تا بتوانیم حرکت بازگشتی جهان را مشاهده نماییم؛ همین میکروسکوپهایی که در دست داریم برای این امر کفایت می‌کنند. اجسام کلان‌تر، مثلاً آنها که ابعادشان حدود یک‌دهم میلیمتر است، از هر طرف مورد اصابت اتمهای متحرک قرار می‌گیرند. اما این امر موجب جنبش آنها نمی‌شود زیرا تعداد این ضربات به‌قدری کثیر است که قانون احتمالات ایجاب می‌کند اثرات یکدیگر را خنثی سازند. اما ذرات ریزتر به دفعاتی چنان نادر مورد اصابت قرار می‌گیرند که این خنثی‌سازی را در مورد آنها نمی‌توان با هیچ درجه‌ای از قطعیت صادق دانست، پس می‌باید لاینقطع به این سو و آن سو پرتاب شوند. بدین ترتیب یکی از اصول ما در معرض خطر قرار می‌گیرد.

حال بیایید اصل نسبیت را در نظر بگیریم. این اصل نه تنها از طریق تجربیات روزانهٔ ما تأیید شده است، و نه تنها خود از نتایج ضروری فرضیهٔ نیروهای مرکزی است، بلکه در نظر عقل سلیم نیز حقانیت آن انکارناپذیر می‌نماید. با این حال، این اصل هم مورد حملاتی شدید قرار گرفته است. دو جسم حامل بار الکتریکی را در نظر بگیرید. گرچه به نظر می‌رسد آنها در حال سکون قرار داشته باشند اما درواقع هر دوی آنها با حرکت زمین در حرکت هستند. رولند[1] نشان داده است که حرکت بار الکتریکی معادل جریان برق است. پس این دو جسم باردار نیز دو جریان برق تشکیل می‌دهند که به موازات یکدیگر و در یک جهت سیران دارند و بدین ترتیب باید یکدیگر را جذب کنند. از طریق اندازه‌گیری شدت این جاذبه باید بتوانیم سرعت حرکت زمین را اندازه بگیریم، سرعتی نه نسبت به خورشید یا ستارگان، بلکه سرعت مطلق زمین را.

می‌دانم در اینجا چه خواهید گفت: سرعتی که از این طریق اندازه گرفته شود نه سرعت مطلق، بلکه سرعت نسبی زمین در برابر اتر است. اما چقدر این سخن نسنجیده است! آیا واضح نیست که اگر چنین سخنی را قبول کنیم آنگاه هیچ نتیجه‌ای را نخواهیم توانست از اصل نسبیت استنتاج نماییم؟ با این تعبیر، اصل نسبیت دیگر نمی‌تواند چیزی به ما بیاموزد زیرا هرگز واهمهٔ

1. Gibbs

1. M. Gouy 2. Rowland

نقض شدنِ آن وجود نخواهد داشت. هرگاه در آزمایشی موفق شویم کمیتی را بدین ترتیب اندازه‌گیری کنیم، همیشه مختاریم بگوییم سرعت به‌دست آمده مطلق نبوده است، و چنانچه نشود آن‌را سرعت زمین نسبت به اتر قلمداد نمود، همواره می‌توانیم عنصر جدید ناشناخته‌ای را فرض کنیم که تمامی فضا را از خود انباشته است و سرعت زمین نسبت به آن تعیین می‌گردد.

علاوه بر این، آزمایش تجربی هم وظیفهٔ ابطال این تعبیر از اصل نسبیت را به‌عهده گرفته است. تمامی کوششهایی که مصروف اندازه‌گیری سرعت حرکت زمین نسبت به اتر شده‌اند، نتایجی منفی به‌بار آورده‌اند. در این خصوص، فیزیک تجربی بیش از فیزیک ریاضی نسبت به اصل نسبیت از خود وفاداری نشان داده است؛ نظریه‌پردازان، برای تأمین هماهنگی میان اصول عام دیگر، ابائی ندارند که به راحتی دست از این اصل بردارند، لیکن آزمایش تجربی پیوسته آن را تأیید کرده است. انواع روشها طرح‌ریزی و به‌کار گرفته شدند تا اینکه مایکلسن توانست دقت مشاهده را به حد نهایی خود رساند؛ ولی باز چیزی عاید نشد. این لجاجت تا بدانجا رسیده است که امروزه ریاضیدانان را وادار ساخته برای چیرگی بر آن تمامی نبوغ و فراست خویش را به‌یاری طلبند.

کاری که ریاضیدانان پیش روی داشتند، کار آسانی نبوده است؛ و اگر لورنتس توانست از عهدهٔ این‌کار برآید، توفیق خویش را تنها مدیون فرضیه‌هایِ روی هم انباشته بود.

نبوغ‌آمیزترین فکر در این خصوص، اندیشهٔ زمان موضعی است. دو مشاهده‌گر را تصور نمایید که می‌خواهند زمان‌سنج‌های خود را توسط علائم نوری تنظیم کنند. هر یک علامت خود را به‌سوی دیگری ارسال می‌دارد؛ اما از آنجا که هر دو می‌دانند انتشار نور در سرتاسر فضا به‌صورت آنی انجام نمی‌پذیرد، به این نکته توجه خواهند داشت که باید ارسال علائم خویش را تکرار کنند. هنگامی‌که مشاهده‌گر B علامت ارسالی از طرف مشاهده‌گر A را دریافت می‌کند، زمان‌سنج وی همان لحظه‌ای را که A آغاز به ارسال علامت خود کرده بود نشان نمی‌دهد، بلکه باید آن لحظه را به مقدار ثابتی که نشانگر مدت انتقال نور از A به B است، اضافه نمود. فرض کنیم، برای مثال، A علامت خود را در لحظه‌ای ارسال می‌کند که زمان‌سنج او ساعت صفر را نشان می‌دهد، و B این علامت را در لحظه‌ای دریافت می‌کند که زمان‌سنج او بر ساعت t قرار گرفته است. اگر t مدت زمان انتقال نور از A به B باشد، به‌نظر می‌رسد زمان‌سنج‌های این دو به این ترتیب تنظیم شده باشند. برای اینکه چنین نتیجه‌ای مورد بازرسی قرارگیرد، مشاهده‌گر B باید در لحظه‌ای که زمان‌سنج‌اش ساعت صفر را نشان می‌دهد علامتی به‌سوی A ارسال دارد. حال مشاهده‌گر A باید این علامت را هنگامی رؤیت کند که زمان‌سنج خودش ساعت t را نشان می‌دهد. بعد از این ردوبدل‌ها می‌توان گفت که زمان‌سنج‌های این دو واقعاً با یکدیگر تنظیم شده‌اند.

و به‌راستی تنها در یک صورت دو زمان‌سنج می‌توانند در یک لحظهٔ فیزیکی واحد، ساعتی واحد را نشان دهند و آن درحالی است که هر دو در وضعیت سکون قرار داشته باشند. در غیر این‌صورت، زمان انتقال نور در دو جهت مخالف یکی نخواهد بود زیرا، فی‌المثل، مشاهده‌گر A به‌بدرقهٔ ارتعاشاتی می‌رود که از طرف B ارسال شده‌اند، در حالی‌که B، قبل از صدور ارتعاشی از طرف A، از وی در حال گریز بوده است. بنابراین زمان‌سنج‌هایی که بدین ترتیب تنظیم شده باشند زمان حقیقی را نشان نخواهند داد. این زمان‌سنج‌ها زمانی را که شاید بتوان به آن «زمان موضعی» گفت اندازه می‌گیرند به طوری که یکی از دیگری همواره جلوتر خواهد بود. البته این واقعیت چندان اهمیت ندارد، زیرا ما وسیله‌ای برای درک این اختلاف در دست نداریم. برای مثال، تمام وقایعی که برای A روی می‌دهند، همگی با تأخیر به وقوع می‌پیوندند، آن‌هم همیشه به یک اندازه. اما این مشاهده‌گر هیچگاه متوجه این تأخیر نخواهد شد زیرا هر زمان‌سنجی که در اختیار داشته باشد نیز به‌همان میزان تأخیر خواهد داشت. بنابراین، طبق اصل نسبیت وی به هیچ طریقی نخواهد توانست تشخیص دهد که آیا در وضعیت سکون قرار دارد یا حرکت مطلق. متأسفانه لیکن، قضیه به این سادگیها نیست و لازم است پای فرضیات دیگری را نیز به میان کشید. مجبوریم بپذیریم که اجسام متحرک در جهت حرکتشان دچار انقباضی همسان می‌گردند. برای مثال، طول یکی از قطرهای کره زمین، در اثر حرکت این سیاره، به مقیاس $\frac{۱}{۲\times۱۰^{۸}}$ کاهش می‌یابد در حالی‌که قطرهای دیگر آن اندازهٔ طبیعی خود را حفظ می‌نمایند. بدین ترتیب ناچیزترین اختلافات، از نوعی که گذشت، توضیح داده می‌شوند. اما داستان به اینجا ختم نمی‌شود؛ فرضیهٔ راجع به نیروها را هم باید در نظر گرفت. در جهانی که در حال حرکت انتقالی می‌باشد، هر نیرویی صرف‌نظر از منشائی که دارد، خواه وزن باشد خواه کشسانی، به نسبت خاصی کاهش پیدا می‌کند؛ یا بهتر بگوییم، چنین وضعی برای آن مؤلفه‌هایی از نیرو حادث می‌شود که با جهت حرکت انتقالی زاویه‌ای قائمه می‌سازند؛ مؤلفه‌های موازی این جهت هیچ تغییری پیدا نمی‌کنند. حال بیایید به مثالی که در بارهٔ دو جسمِ حاملِ بار الکتریکی زدم برگردیم: اینها یکدیگر را دفع می‌کنند؛ اما در عین حال اگر همه چیز در حال انتقال با سرعتی یکنواخت باشد، این دو بار معادل دو جریان موازی خواهند بود که در یک جهت سیران دارند و بنابراین یکدیگر را جذب می‌کنند.

حال این جاذبهٔ الکترودینامیکی باید از دافعهٔ الکتروستاتیک کم شود و نیروی دافعه‌ای که از تفاضل این دو باقی می‌ماند از دافعه‌ای که میان این دو جسم در حالت سکون عمل می‌نماید، ضعیفتر خواهد بود. اما از آنجا که برای اندازه‌گیری نیروی دافعهٔ باقیمانده باید آن‌را در تراز با نیروی دیگری قرار دهیم و از آنجا که کلیهٔ این‌گونه نیروها خود نیز به همان نسبت کاهش پیدا کرده‌اند، هیچ چیزی را مشاهده نمی‌کنیم و کلیهٔ ظواهر امر، بدین ترتیب، کاملاً حفظ می‌شوند. اما آیا همه شک و تردیدها را از این طریق برطرف کرده‌ایم؟ اگر می‌شد توسط علائمی غیر از علائم نوری، که سرعت سیرشان متفاوت با سرعت انتشار نور است، تبادل اطلاعات کنیم، آنگاه چه وضعی پیش می‌آمد؟ اگر پس از تنظیم زمان‌سنج‌های خود توسط کارآمدترین روشی که در اختیارمان قرار دارد، می‌خواستیم نتیجه را با استفاده از این علائم جدید امتحان کنیم، باید می‌توانستیم تفاوتهایی را که معلولِ حرکت انتقالی مشترک دو مشاهده‌گر است، مشاهده نماییم. و اگر با لاپلاس هم‌عقیده شویم که نیروی جاذبهٔ عمومی با سرعتی میلیونها برابر سرعت سیر نور در فضا منتشر می‌شود، آیا باز می‌توانیم اصرار ورزیم که چنین علائمی در تصور نمی‌گنجند؟

در دورانهای اخیر از اصل نسبیت بس دلیرانه دفاع شده است؛ اما نفس سرسختی این دفاع خود نشان می‌دهد که تا چه حد حملات بر علیه آن جدی بوده‌اند.

اما اکنون اجازه دهید به صحبت از اصل نیوتن بپردازم، اصلی که ناظر

به برابری عمل و عکس‌العمل است. این اصل با اصل قبلی در ارتباطی تنگاتنگ قرار دارد و به نظر می‌رسد فروپاشی یکی موجبات درهم ریختن دیگری را فراهم آورد. از این هم نباید تعجب کنیم که در مورد این اصل نیز با همان مشکلات روبه‌رو شویم.

تصور رایج این است که پدیده‌های الکتریکی معلول جابه‌جایی ذرات ریزی هستند که بار الکتریکی حمل می‌کنند و به آنها «الکترون» می‌گویند. الکترونها غرق در محیطی هستند که آن‌را «اتر» می‌نامیم. حرکات الکترونها اغتشاشاتی را در اتری که آنها را احاطه نموده است پدید می‌آورد. این اغتشاشات در تمامی جهات با سرعت سیر نور انتشار می‌یابند و سایر الکترونها، که در بدو امر در حالت سکون قرار داشته بودند، با فرا رسیدن اغتشاشات به قسمتی از اتر که آنها را دربرگرفته است، شروع به جابه‌جایی می‌کنند. بدین ترتیب هر یک از الکترونها بر دیگری عمل می‌نماید، منتها این عملکرد به صورت مستقیم انجام نمی‌پذیرد بلکه توسط واسطه‌ای چون اتر به منصهٔ ظهور می‌رسد. تحت چنین شرایطی، آیا هنوز امکان دارد از برابری عمل و عکس‌العمل سخن بگوییم، آن هم برای مشاهده‌گر که تنها شاهد حرکات ماده، یعنی الکترونها، می‌باشد و حرکات اتری که نمی‌تواند آن‌را ببیند از نظرش کاملاً پنهان می‌مانند؟ واضح است که جواب باید منفی باشد. حتی اگر این موازنه به‌گونه‌ای دقیق برقرار باشد، مسلماً نمی‌تواند به‌صورت آنی انجام پذیرد. اغتشاشات با سرعتی متناهی انتشار می‌یابند، بنابراین تنها هنگامی به الکترون دوم خواهند رسید که اولی مدتهاست به وضع سکون بازگشته است. بدین ترتیب، الکترون دوم پس از مدتی تحت تأثیر عمل الکترون اول قرار می‌گیرد؛ لیکن مطمئناً در همان لحظه‌ای که اتر را می‌پذیرد، نمی‌تواند نسبت به اولی عکس‌العملی نشان دهد زیرا در آن لحظه در اطراف الکترون اول چیزی در حال جنبش قرار ندارد.

تحلیل واقعیات به ما اجازه خواهد داد که دقیقتر صحبت کنیم. برای مثال، یک نوسانگر هرتزی را در نظر بگیرید، مانند آنها که در تلگراف بی‌سیم به‌کار می‌روند. این نوسانگر در تمامی جهات در فضا انرژی پخش می‌کند، اما می‌توان بر آن آیینه‌ای سهمی‌شکل نصب نمود (همچنان‌که هرتز با کوچکترین نوسانگرهای خود چنین کرد)، به‌طوری که ارسال تمامی انرژی تولیدشده تنها در یک جهت متمرکز شود. با تحقق همچون وضعی، وقوع چه رویدادی را نظریه پیش‌بینی می‌کند؟ معلوم است، چنین دستگاهی به توپی می‌ماند و انرژی ساطع‌شده از آن به گلولهٔ توپ. در اثر شلیک این «گلوله»، دستگاه پس می‌زند و با این عمل خود اصل نیوتن را نقض می‌کند، زیرا «گلولهٔ» پرتاب‌شدهٔ ما جرمی ندارد؛ از ماده ساخته نشده، بلکه انرژی خالص است. مضافاً، همین حالت برای فانوسی دریایی صادق است که مجهز به یک انعکاس‌دهنده است، زیرا نور چیزی نیست جز نوساناتی در میدان الکترومغناطیسی. این فانوس دریایی نیز در تعاقب صدور نوری که به شلیک گلوله توپ می‌ماند باید خودْ پس زند. اما نیرویی که این پس‌زنی را حاصل می‌آورد، چیست؟ این نیرو همان است که «فشار ماکسول-بارتولدی» نامیده می‌شود، نیرویی است بس ناچیز که نمایان ساختن آن، حتی با حساسترین تابش‌سنج‌ها، زحمت فراوانی را طلب کرده است. برای مقاصد بحث ما همین بس که چنین نیرویی درواقع وجود دارد.

اگر تمامی انرژی ساطع‌شده از نوسانگر به گیرنده‌ای اصابت کند، این گیرنده طوری عمل خواهد کرد که گویی ضربه‌ای فیزیکی دریافت کرده است. به تعبیری، این ضربه نمایانگر تلافی پس‌زنی نوسانگر خواهد بود: عکس‌العمل برابر عمل است، لیکن این دو همزمان روی نخواهند داد: گیرنده قدری پیشروی خواهد کرد اما نه در همان آنی که نوسانگر پس‌زده است. حال اگر انتشار انرژی در این حالت به‌گونه‌ای نامتناهی ادامه پیدا کند بدون آنکه گیرنده‌ای آن را دریافت نماید، تلافی این عمل هیچگاه تحقق نخواهد پذیرفت.

آیا نمی‌توان گفت فضایی که نوسانگر را از گیرنده جدا می‌سازد، یعنی فاصله‌ای که اغتشاشات پخش‌شده از یکی باید طی کنند تا به دیگری برسند، تهی نیست و نه تنها از اتر بلکه از هوا، یا شاید در مورد فضای بین سیارات، از سیالی بس رقیق اما قابل توزین، پوشیده شده است، به‌طوری که ضربه را این ماده، همانند آن گیرنده در لحظه‌ای که انرژی بدان می‌رسد، دریافت می‌کند و پس از گذر اغتشاش از آن، پس می‌زند؟ این سخن البته ناجی اصل نیوتن هست، اما درست نیست. اگر انرژی، در طول مدت انتشارش، همواره متصل به محملی مادی می‌بود، این ماده با حرکتش نور را به‌دنبال خود می‌کشید؛ لیکن فیزو[1] نشان داده است که لااقل در مورد هوا ابداً چنین نیست. پس از او، مایکلسن و مورلی نیز این نظر را تأیید نموده‌اند. شاید بتوان فرض کرد که حرکات مادهٔ معمولی دقیقاً توسط حرکات اتر تلافی می‌شوند، اما چنین فرضی ما را به همان ملاحظاتی می‌کشاند که لحظاتی پیش مطرح کردیم. با چنین تعبیری، اصل نیوتن قادر به توضیح همه چیز خواهد شد، زیرا در برابر هر حرکتی که به رؤیت درآید، حرکاتی فرضی را می‌توان تصور کرد که آن را تلافی کنند. اما اگر این اصل توانایی توضیح هر چیزی را داشته باشد، آنگاه قادر به هیچ نوع پیش‌بینی نخواهد بود؛ با تکیه بر آن ما نخواهیم توانست از میان فرضیاتی ممکن و متنوع یکی را برگزینیم، زیرا خود از قبل همه چیز را توضیح داده است. بدین شکل، این اصل مفید هیچ فایده‌ای نخواهد بود.

علاوه بر اینها، فرضیاتی که می‌باید برای توضیح حرکات اتر بپذیریم، خود زیاد مطلوب نیستند. اگر مقدار بار الکتریکی را به دو برابر افزایش دهیم طبیعی است که نتیجه بگیریم سرعت اتمهای تشکیل‌دهندهٔ اتر نیز به دو برابر افزایش پیدا خواهند کرد. آنگاه برای اینکه عکس‌العمل لازم برای تلافی این حرکتها صورت پذیرد لازم خواهد بود سرعت متوسط اتر چهار برابر بیشتر شود.

به دلیل این‌گونه ملاحظات، مدتها فکر می‌کردم که بالاخره روزی فرا خواهد رسید که آن دسته از نتایج نظریه که با اصل نیوتن ناسازگاری دارند، کنار گذاشته شوند؛ لیکن به‌نظر می‌رسد آزمایشهای انجام‌شدهٔ اخیر بر روی حرکات الکترونهایی که توسط رادیوم پراکنده می‌شوند، این نتایج را تأیید می‌کنند.

اکنون می‌پردازم به اصل لاوازیه در بارهٔ بقاء جرم. یقیناً نمی‌توان بدون آسیب رساندن به بنیان علم مکانیک، دستی در این اصل برد. در عین حال هستند کسانی که فکر می‌کنند این اصل تنها در ظاهر امر درست به‌نظر می‌رسد زیرا در مکانیک سروکار ما فقط با سرعتهای ملایم است. اینها معتقدند برای اجسامی که با سرعتهایی نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کنند، اعتبار این اصل از دست خواهد رفت. در حال حاضر اعتقاد همگان بر این است که چنین سرعتهایی حاصل آمده‌اند؛ به نظر می‌رسد اشعهٔ کاتد و رادیوم از ذرات بسیار ریزی تشکیل یافته باشند که با سرعتهایی بی‌شک کمتر از سرعت نور حرکت می‌کنند، اما ظاهراً نسبت آنها به سرعت سیر نور به

1. Fizeau

یک‌دهم یا حتی یک‌سوم نیز کاهش پیدا کرده است.

این اشعه را می‌توان توسط میدانهای الکتریکی یا مغناطیسی منحرف کرد و با مقایسهٔ میزان این انحرافات نیز می‌توان هم سرعت الکترونها و هم جرم آنها (یا شاید بهتر باشد بگوییم نسبت جرم به بار الکتریکی آنها) را اندازه گرفت. اما خیلی زود دریافتیم که به محض نزدیک شدن این سرعتها به سرعت نور لازم می‌آید اصلاحیه‌ای را در محاسبات خود وارد کنیم. از آنجا که این‌گونه ذرات حامل الکتریسیته‌اند، جابه‌جایی آنها بدون برهم‌زدن وضع اتر ممکن نیست. بنابراین برای به‌حرکت درآوردن آنها، غلبه بر دو لختی لازم می‌شود: یکی لختی هر ذره و دیگری لختی اتر. بدین ترتیب کل جرم یا جرمی ظاهری که اندازه‌گیری می‌شود، مشتمل بر دو بخش خواهد بود، یکی جرم حقیقی یا مکانیکی هر ذره و دیگری جرم الکترودینامیکی آن که نمایانگر لختی اتر است.

حال محاسبات اِبِرَهَم[1] و آزمایشات کاوفمن[2] نشان داده‌اند که جرم مکانیکی، به‌معنای دقیق کلمه، هیچ است و جرم الکترون، لااقل الکترونهای با بار منفی، تماماً منشائی الکترودینامیکی دارد. این دستاوردها ما را وامی‌دارد تا تعریف خود از جرم را تغییر دهیم؛ دیگر نمی‌توان بین جرم مکانیکی و جرم الکترودینامیکی تمایزی قائل شد زیرا یکی از طرفین از میان رفته است. هیچ جرمی جز لختی الکترودینامیکی وجود ندارد. اما در این صورت دیگر جرم نمی‌تواند ثابت باقی بماند و باید با افزایش سرعت افزایش پیدا کند؛ به‌جهت حرکت هم بستگی دارد و جسمی که با سرعتی قابل توجه در حرکت است با همان لختی که در برابر نیروهای بازدارنده از مسیر حرکتش مقاومت می‌کند، در برابر نیروهایی که شتاب حرکت آن را کم یا زیاد می‌کنند، مقاومت نمی‌نماید.

البته در برابر این استدلالها، راه فراری نیز وجود دارد: عناصر بنیادی اجسام را الکترونها تشکیل می‌دهند که بعضی از آنها حامل بار منفی و برخی دیگر دارای بار مثبت‌اند. برداشت ما این است که الکترونهای منفی جرمی ندارند؛ اما الکترونهای مثبت، براساس اطلاعات اندکی که از آنها داریم، ظاهراً بسیار بزرگتر از منفی‌ها هستند. شاید آنها علاوه بر جرم الکترودینامیکی از جرم واقعی و مکانیکی نیز برخوردار باشند. بدین ترتیب جرم واقعی اجسام از حاصل‌جمع جرم مکانیکی الکترونهای مثبت تشکیل خواهد شد زیرا الکترونهای منفی در این جرم سهمی ندارند. جرمی که به این صورت تعریف می‌شود، شاید بتواند ثابت باقی بماند.

افسوس که این مفر بر ما بسته شده است. به خاطر آوریم آنچه را که در بارهٔ اصل نسبیت و کوششهای انجام شده برای نجاتش گفتیم. مسأله تنها نجات یک اصل نیست، پای نتایج تردیدناپذیر آزمایشهای مایکلسن و مورلی نیز در میان است. همان‌طور که ملاحظه کردیم، لورنتس تنها چاره را برای توضیح این نتایج در این دید که فرض کند تمامی نیروهای عمل‌کننده در محیطی که خود با سرعتی یکنواخت در حال حرکت انتقالی‌اند، صرف‌نظر از منشأ آنها، به یک نسبت کاهش پیدا می‌کنند. اما این تنها کافی نیست؛ کافی نیست که این امر فقط در باره نیروهای واقعی صدق کند؛ همین باید در مورد نیروهای لختی نیز صادق باشد. بنابراین، همان‌طور که خود او گفته است، بالضروره می‌باید تأثیری که حرکت انتقالی بر جرم الکترومغناطیسی الکترونها به‌جای می‌گذارد، به همان درجه بر جرم تمامی ذرات دیگر نیز اعمال شود.

بنابراین لازم می‌شود اجرام مکانیکی طبق همان قوانینی تغییر کنند که جرم الکترودینامیک می‌کند؛ پس اینها دیگر نمی‌تواند ثابت باقی بمانند.

آیا ذکر این نکته لازم است که سقوط اصل لاوازیه سرنگونی اصل نیوتن را به‌همراه دارد؟ از ملزومات اصل دوم یکی این است که مرکز ثقل دستگاهی که از هر نوع تأثیر خارجی کاملاً مصون شده است، باید برروی خطی مستقیم حرکت کند. اما اگر جرم ثابتی در کار نباشد مرکز ثقلی هم وجود نخواهد داشت، و اساساً این عبارت فاقد معنا خواهد شد. این است دلیل آنکه قبلاً گفتم به‌نظر می‌رسد آزمایشها برروی اشعهٔ کاتد تردیدهای لورنتس را دربارهٔ اصل نیوتن توجیه می‌کنند.

اما اگر قرار باشد همهٔ این نتایج تأیید شوند آنگاه مکانیک تماماً نوینی پا به عرصهٔ وجود خواهد نهاد که خصلت مشخصهٔ آن، مخصوصاً با این واقعیت معین می‌شود که هیچ سرعتی را امکان فراتر رفتن از سرعت سیر نور نیست[1]، همان‌گونه که هیچ حرارتی را توان نزول به پایینتر از صفر مطلق نیست. برای مشاهده‌گری که خود به صورت انتقالی در حرکت است، بدون اینکه خبر از آن داشته باشد، هیچ سرعت ظاهری نمی‌تواند به حد سرعت نور برسد؛ و این موجب تناقض خواهد شد مگر اینکه به‌خاطر آوریم چنین مشاهده‌گری همان زمان‌سنجی را که یک مشاهده‌گر ساکن مورد استفاده قرار می‌دهد، به کار نمی‌گیرد، بلکه زمان‌سنج او «زمان موضعی» را برایش نشان می‌دهد.

در اینجاست که رو در روی سؤالی قرار می‌گیریم که من تنها به بیان آن اکتفا می‌کنم. اگر دیگر جرمی در کار نباشد، چه بر سر قانون نیوتن خواهد آمد؟

جرم دو جنبه دارد: در عین اینکه ضریبی از لختی است، به‌عنوان جرم جذب‌کننده، عاملی را در قانون جاذبهٔ نیوتن تشکیل می‌دهد. اما اگر ضریب لختی هیچ‌گاه ثابت باقی نماند، آیا جرم جذب‌کننده می‌تواند ثابت باشد؟ این است سؤالی که بدان اشاره کردم.

ظاهر امر این است که اصل بقای انرژی لااقل تابه‌حال از تعرض در امان مانده و بیشتر از اصول دیگر تثبیت شده است. اما می‌خواهید چگونگی سقوط این اصل را هم به ورطهٔ بی‌اعتباری به یادتان آورم؟ رویدادی که موجبات نگونساری این اصل را فراهم آورد از سایر موارد بیشتر سر و صدا به‌پا کرد؛ تمام نشریات علمی پر از بحث دربارهٔ آن شده‌اند. بعد از چاپ اولین اثر بِکِرل[2]، و مهمتر از آن بعد از اینکه زوج کوری[3] موفق به کشف رادیوم شدند، متوجه شدیم که هر عنصر رادیواکتیو منبعی تمامی‌ناپذیر از تشعشع را تشکیل می‌دهد، منبعی که به نظر می‌رسد فعالیت آن بی‌وقفه طی ماهها و سالها تداوم داشته باشد. این خود اصول ذکر شده را در مخمصه قرار می‌دهد؛ این تشعشعات در واقع چیزی نبودند جز انرژی؛ پس از یک تکه رادیوم، انرژی طوری زاده می‌شود که گویی این زایش را پایانی نیست. در عین حال مقادیر

۱. زیرا اجسام در برابر نیروهای شتاب‌دهندهٔ حرکتشان لختی فزاینده‌ای نشان می‌دهند و هنگامی که سرعت آنها به حد سرعت نور نزدیک شود، این لختی به طرف بینهایت میل خواهد کرد.

1. Abraham 2. Kaufmann

2. Becquerel 3. Curie

این انرژی آنقدر ناچیز بودند که تن به اندازه‌گیری نمی‌دادند؛ لااقل اعتقاد رایج این بود و موجبات چندی برای نگرانی جدی فراهم نبود.

صحنه وقتی تغییر کرد که کوری بر آن شد تا رادیوم را در گرماسنج قرار دهد. آنگاه آشکار شد که مقدار گرمایی که از آن به‌طور مداوم تولید می‌شود، بسیار قابل توجه است.

تعداد نظریه‌هایی که برای توضیح این پدیده وارد صحنه شدند، کم نبودند؛ لیکن در مواردی از این قبیل همیشه نمی‌توان گفت که فراوانی نعمت موجب ضرر و زیان نمی‌شود: تا هنگامی که یک نظر رقبای خود را از میدان به در نکرده باشد، نمی‌توان اطمینان حاصل کرد که یکی از آنها حتماً نظر خوبی است. اما اکنون مدتی است که به‌نظر می‌رسد یک نظریه رفته‌رفته خود را شاخصتر از دیگران نشان می‌دهد و می‌توان عاقلانه امید داشت که بالاخره کلید این رمز در دستان ما قرار گرفته باشد.

سِر ویلیام رمزی[1] سعی کرده است نشان دهد که رادیوم عنصری ناپایدار است[2]، و در عین اینکه انبار عظیمی از انرژی را در خود نهفته دارد، ذخیره‌اش پایان‌ناپذیر نیست. فرایند تبدیل رادیوم، گرمایی حدود یک میلیون برابر آنچه در تبدیلات شناخته شده تولید می‌شود، آزاد می‌سازد و قریب ۱۲۵۰ سال طول می‌کشد تا رادیوم تمام انرژی خود را از دست بدهد. این مدت زمان درازی نیست، اما ملاحظه می‌کنید که می‌توان اطمینان داشت لااقل برای چندصد سال محکوم به باقی ماندن در همین وضعی هستیم که الان در آن قرار داریم. در این مدتِ انتظار، شک و تردید ادامه خواهد یافت.

در میان این ویرانه‌ها چه چیز مانده است که پابرجا ایستاده باشد؟ تابه‌حال اصل کمترین کنش دست نخورده باقی مانده است، و ظاهراً لارمر[3] بر این عقیده است که این اصل برای مدتهایی مدید کماکان به حیات خود ادامه خواهد داد. در واقع این اصل، در مقایسه با اصول دیگر، هم مهمتر است و هم عامتر.

در برابر این همه اصول فروریخته، فیزیک ریاضی چه نگرشی را باید اتخاذ کند؟ اول از همه و قبل از اینکه زیاد هیجان‌زده شویم، باید سؤال کنیم آیا آنچه تابه‌حال گفته شده واقعاً درست بوده است یا نه. اصولی که برشمردیم اعتبار خود را تنها برای موارد فوق‌العاده ریز از دست داده‌اند: برای مشاهدهٔ حرکت براونی احتیاج به میکروسکوپ داریم، الکترونها به چشم نمی‌آیند؛ رادیوم عنصری است بس نایاب و هیچ‌گاه هم در مقادیری بیش از چند میلی‌گرم یافت نمی‌شود. همیشه نیز این سؤال را می‌توان مطرح کرد که آیا در کنار اجسام بسیار ریزی که به مشاهده درآمده‌اند، اجسام بسیار ریز دیگری در کار نیستند که مشاهده نشده‌اند لیکن اثرات آن را خنثی می‌سازند؟

این سؤال مطمئناً جای بحث دارد و در ظاهر امر نیز تنها با آزمایش و مشاهده است که می‌توان برای آن پاسخ مکفی فراهم آورد. شاید صلاح در این باشد که کار را به‌دست آزمایشگران بسپاریم و درضمن اینکه در انتظار می‌مانیم تا یک‌بار برای همیشه به این مناقشه پایان بخشند، سر خود را با این مسائل درد نیاوریم و بی‌سر و صدا به کار خود مشغول باشیم، گویی هیچ‌یک از اصول ذکر شده در معرض تردید قرار نگرفته‌اند. مسلماً در همان حوزه‌ای که این اصول با قطعیت تمام حکمروایی می‌کنند، هنوز کار فراوانی مانده است که باید انجام شود؛ در دوران آمیخته به تردید و انتظار آنقدر کار هست که دست ما را بند کند.

در عین حال باید پرسید آیا فی‌الواقع درست است که برای نجات علم از شر این تردیدها هیچ کاری از دست ما بر نمی‌آید؟ به راستی باید اذعان داشت که فیزیک تجربی در پدید آوردن این مشکلات تنها نبوده است؛ فیزیک ریاضی هم در این مهم سهم بسزایی داشته است. البته، اول‌بار آزمایشگران بودند که متوجه شدند رادیوم ساطع‌کنندهٔ انرژی است، اما آنان‌که مسائل مربوط به انتشار نور در محیطی متحرک را برملا کردند، نظریه‌پرداز بودند؛ اگر اینها نمی‌بودند، شاید این مسائل هرگز مورد توجه واقع نمی‌شدند. بنابراین، نظریه‌پردازان نیز نهایت سعی را در سردرگم کردن ما مبذول نموده‌اند؛ انتظاری بیش از این هم از آنان نداریم که ما را در خلاصی از این مخمصه یاری کنند.

بر نظریه‌پردازان واجب است تمامی اندیشه‌هایی را که امروز بدانها اشاره کردم، مورد نقد و بررسی همه‌جانبه قرار دهند؛ اصول مورد بحث را هم تنها زمانی باید کنار گذارند که هر کوشش صادقانه‌ای که برای نجات آنها در توان داشته‌اند، انجام داده باشند. اما در این جهت چه کار می‌توان کرد؟ این سؤالی است که هم‌اکنون قصد پرداختن بدان را دارم.

در میان جذابترین مسائل فیزیک ریاضی، مسائل مربوط به نظریهٔ جنبشی گازها را باید در جایگاهی خاص قرار داد.

کار زیادی برای حل این مسائل انجام پذیرفته است، اما کارهای بسیاری هم مانده‌اند که باید انجام پذیرند. این نظریه متضمن تعارضی جاودانی است: در مقدمات، همه چیز بازگشت‌پذیر است، در نتیجه‌ها، بازگشت‌ناپذیر، و مابین این دو شکافی عمیق. آیا ملاحظات آماری و قانون اعداد بزرگ قادرند این شکاف را پر کنند؟ بسیاری موارد در این نظریه هنوز در ابهام قرار دارند و بی‌شک لازم خواهد بود بارها و بارها آنها را بررسی کنیم. با روشن شدن این موارد، معنای اصل کارنو، و مقام کلی آن در مبحث دینامیک بهتر فهمیده خواهد شد و ما بهتر می‌توانیم نتایج غریب آزمایشهای گوئی را که قبلاً بدانها اشاره کرده بودیم، تعبیر نماییم.

اما علاوه بر این آیا نباید کاری کنیم تا در زمینهٔ الکترودینامیک اجسام به‌نظریهٔ بهتری دست یابیم؟ همان‌طور که به کفایت گوشزد کردم، در اینجا بیش از همه جا مشکلات انبار شده‌اند. حتی با انباشت فرضیه بر روی فرضیه هم نخواهیم توانست برای تمامی اصول مورد نظر توأماً کسب اعتبار کنیم: تابه‌حال هیچ‌کس موفق نشده که بعضی از این اصول را بدون قربانی ساختن برخی دیگر حفظ کند. اما تمام امیدها برای دستیابی به نتایج بهتر از دست نرفته‌اند. بیایید نظریهٔ لورنتس را برداریم و آن را زیر و رو نماییم؛ بیایید اندک‌اندک در آن دستکاری کنیم؛ شاید از این طریق گشایشی در کار حاصل گردد.

آیا واقعاً نمی‌توانیم به‌جای این تصور که اجسام متحرک دچار انقباض در جهت حرکت خود می‌شوند و اینکه چنین انقباضی برای تمامی آنها، صرف‌نظر از طبیعتشان و نیرویی که بر آنها عمل می‌کند، یکسان صورت می‌پذیرد، فرضی ساده‌تر و طبیعیتر را انتخاب کنیم؟ برای مثال، چرا نتوان تصور کرد که هرگاه اتر نسبت به جسمی که در درون آن در گذر است به حرکت درآید، آنگاه تغییرات فوق در اتر، و نه در جسم، تحقق می‌پذیرند؟ با این تعبیر، اعتشاشاتی که در اتر پدید می‌آیند دیگر با سرعتی یکسان در تمامی

1. W. Ramsay

۲. و با گسیل هلیوم به عنصر دیگری تبدیل می‌شود.ـم.

3. Larmor

جهات فضا منتشر نخواهند شد. آن اغتشاشاتی که به موازات حرکت جسم، چه هم‌جهت با آن و چه در خلاف این جهت، پخش می‌شوند، با سرعت بیشتری انتشار می‌یابند و آن دسته که با مسیر حرکتْ زاویه‌ای قائمه می‌سازند، با سرعتی کمتر. در نتیجه، سطوح خارجی امواج تولید شده دیگر کروی نبوده بلکه بیضوی خواهند بود، و این انقباض حیرت‌انگیز اجسام هم شرش را از سرما کم خواهد کرد.

البته این مورد را به‌عنوان مثال ذکر می‌کنم، زیرا واضح است انواع دستکاریهایی که می‌توان در نظریه اعمال کرد، سر به بینهایت می‌زنند.

ممکن است روزی علم نجوم بتواند نتایجی تجربی را در این خصوص در اختیار ما قرار دهد: در واقع خود این علم بود که اول‌بار اسباب طرح مسأله را از طریق کشف پدیدهٔ کجراهی[1] نور فراهم نمود. اگر برای توضیح این پدیده نظریه‌ای نه‌چندان دقیق تدوین کنیم، نتیجهٔ شگفت‌انگیزی از آن حاصل می‌آید. موضع ظاهری ستارگان، به‌علت حرکت زمین، با موضع حقیقی آنها تفاوت دارد و از آنجا که حرکت زمین خود متغیر است، مواضع ظاهری ستاره‌ها هم تغییر خواهند کرد. ما نمی‌توانیم موضع حقیقی ستاره‌ای را تعیین کنیم، اما تغییرات مواضع ظاهری آنان قابل مشاهده است. بنابراین، مشاهدات ما از پدیدهٔ کجراهی نور می‌تواند نه حرکت زمین، بلکه تغییرات این حرکت را برای ما نمایان سازد. پس این مشاهدات نمی‌توانند چیزی دربارهٔ حرکت مطلق زمین به ما بیاموزند.

به هر تقدیر، اینها واقعیات امر را در حد تقریب اول تشکیل می‌دهند؛ اگر می‌توانستیم گذر زمان را با دقت یک‌هزارم ثانیه اندازه‌گیری نماییم، دیگر واقعیت به این صورتی که گفتم جلوه‌گر نمی‌شد. در آن‌صورت می‌توانستیم مشاهده کنیم که تغییرات در مواضع ظاهری ستارگان نه تنها بستگی به تغییرات در حرکت زمین دارند (تغییراتی که کاملاً هم شناخته شده هستند زیرا ناظر بر حرکت کرهٔ ما در مدار بیضی‌شکل خود می‌باشند)، بلکه علاوه بر آن به مقدار متوسط این حرکت[2] نیز وابسته‌اند. این امر ایجاب می‌کند که ضریب ثابت کجراهی نور برای همهٔ ستاره‌ها دقیقاً یکسان نباشد؛ بنابراین، اختلافات میان آنها باید بتواند حرکت مطلق زمین را به ما نشان دهد.

این استدلال، به شکلی دیگر، حکایت از زوال اصل نسبیت دارد. این درست که ما تا زمانی که بتوانیم گذر زمان را در حد یکهزارم ثانیه اندازه‌گیری کنیم، فاصلهٔ زیادی داریم، اما مع‌الوصف بعضی معتقدند که شاید کل سرعت مطلق زمین بسیار بیشتر از سرعت نسبی آن در برابر خورشید باشد؛ فی‌المثل، چنانچه این سرعت به جای ۳۰ کیلومتر در ثانیه، ۳۰۰ کیلومتر در ثانیه باشد، آنگاه قادر خواهیم بود آن‌را مشاهده کنیم.

من معتقدم این نحوهٔ استدلال کردن مستلزم زیاد ساده انگاشتن نظریهٔ کجراهی نور است. همان‌طور که قبلاً نیز متذکر شدم، مایکلسن نشان داده است که هیچ روشی در فیزیک توانایی عیان ساختن حرکت مطلق زمین را ندارد؛ من هم قانع شده‌ام که این امر در مورد روشهای نجومی نیز کاملاً صدق می‌کند و هر قدر میزان دقت خود را افزایش دهیم، در این نتیجه کوچکترین خللی پیدا نخواهد شد.

صرف‌نظر از اینکه حقیقت امر در این موردِ به‌خصوص چیست، نتایجی که اخترشناسان در این جهت در اختیار ما قرار خواهند داد، روزی به‌کار فیزیکدانان خواهد آمد. در عین حال، معتقدم که نظریه‌پردازان، با توجه به آزمایشهای مایکلسن، می‌توانند اطمینان داشته باشند که نتیجه در این مورد همواره منفی خواهد بود و اگر ایشان می‌خواهند کاری مثمرثمر در زمینه کجراهی نور انجام دهند، باید این نتیجهٔ منفی را پیشاپیش درکار خود ملحوظ دارند.

اما اجازه دهید باز به زمین برگردیم. در زمین هم ما می‌توانیم آزمایشگران را یاری دهیم. یکی ازکارهایی که برای مثال می‌توانیم انجام دهیم این است که زمینه را با تحقیق همه‌جانبه در رفتار دینامیکی الکترون مهیا سازیم. سوءتفاهم نشود، من نمی‌گویم که این کار فقط باید با اتکا بر یک فرضیه صورت پذیرد، بلکه معتقدم چاره در این است که در حد امکان تعداد بیشتری فرضیه پیدا کنیم و به میدان بفرستیم. آنگاه نقش فیزیکدانان تجربی به این ترتیب مشخص می‌شود که از حاصل کار ما برای یافتن آزمایشی سرنوشت‌ساز استفاده کنند تا بهترین فرضیه از میان آن فرضیه‌ها گزینش شود.

بررسی رفتار دینامیکی الکترون را از منظرهای متفاوتی می‌توان انجام داد. اما از میان راههایی چند که برای این کار وجود دارند، یکی هست که در عین مغفول ماندن، نوید بیشترین اعجاب را می‌دهد. این راه ناظر بر خصایصی در حرکت الکترونهاست که خطوط گسسته در طیف نوری را تولید می‌نمایند، خصایصی که توسط پدیدهٔ زیمان به اثبات رسیده‌اند. جسمی را در نظر بگیرید که در اثر التهاب به حالت تابندگی رسیده باشد؛ آنچه در چنین جسمی اعمال ارتعاشی انجام می‌دهد از یک آهن‌ربا تأثیر پذیرفته، بار الکتریکی پیدا می‌کند. این اولین نکتهٔ بسیار مهم است، اما از این فراتر تابه‌حال کسی به عمق این مسأله نفوذ نکرده است. علت اینکه توزیع خطوط در یک طیف نوری از قانونی منظم تبعیت می‌کند، چیست؟ این‌گونه قوانین را که بسیار دقیق و نسبتاً ساده هم هستند، آزمایشگران به تفصیل بررسی کرده‌اند. در نظر اول، ترتیب خطوط در این طیف، هارمونی‌هایی را که در آکوستیک یافت می‌شوند به ذهن تداعی می‌کند؛ لیکن تفاوت میان این دو عظیم است. نه تنها تعداد ارتعاشات مضربهایی متوالی از عددی واحد را تشکیل نمی‌دهند، بلکه در اینجا حتی چیزی شبیه ریشه‌های معادلات غیرجبری [متعالی]، از آن‌گونه که در انواع مسأله در فیزیک ریاضی با آنها آشنا شده‌ایم، یافت نمی‌کنیم: مسائلی از قبیل ارتعاشات اجسام کشسان با هر شکلی، یا نوسانات هرتزی در هر نوع از تولیدکننده‌های برق، یا مسألهٔ فوریه در باب خنک شدن جامدات.

قوانین مربوط به طیف نوری از قوانین مربوط به هارمونی‌ها ساده‌ترند، اما نوع آنها با یکدیگر کاملاً فرق می‌کند. اگر بخواهیم تنها یکی از این تفاوتها را برشمریم، می‌توانیم به این واقعیت اشاره کنیم که برای هارمونی‌های مرتبهٔ بالا تعداد ارتعاشات به طرف حدی متناهی میل می‌کنند نه اینکه افزایشی نامتناهی داشته باشند.

در این مورد تابه‌حال توضیحی داده نشده است و من فکر می‌کنم که در پس آن یکی ازمهمترین رموز طبیعت نهفته باشد. در این جهت لیندِمن علی‌رغم کوشش قابل ستایشی که از خود نشان داده، نتوانسته است شاهد توفیق را در آغوش گیرد. این کوششها باز باید از سر گرفته شوند. تنها از این طریق است که خواهیم توانست، به قول معروف، به اعماق نهان ماده نفوذ نماییم، و هنگامی که از منظر دیدگاه امروزی خود به جهان توانستیم دریابیم چرا ارتعاشات اجسام تابنده به این صورت با ارتعاشات اجسام کشسان تفاوت

1. aberration

۲. منظور، متوسط سرعت زاویه‌ای زمین در مدار بیضی شکل آن است.ـم.

دارند، چرا رفتار الکترونها همانند ماده‌ای که تابه‌حال با آن مأنوس بوده‌ایم نیست، قوانین دینامیکی حاکم بر الکترونها را بهتر خواهیم فهمید و آنگاه شاید وفق دادن این قوانین با اصولی که تابه‌حال از آنها صحبت می‌کرده‌ایم، آسانتر باشد.

حال فرض کنید تمامی این کوششها با شکست مواجه شوند (و بعد از همهٔ این حرفها، من فکر نمی‌کنم این‌طور شود). آنگاه چه باید بکنیم؟ آیا باید برویم به‌دنبال اینکه به اصطلاح با یک ترفند همهٔ اصول فروریخته را از نو بازسازی کنیم؟ واضح است که این کار را همیشه می‌توان انجام داد، و در این مورد من هیچ چیزی از آنچه را که قبلاً گفته‌ام پس نمی‌گیرم. اما آنها که در ادامهٔ مناقشه با من پافشاری می‌کنند، ممکن است بگویند: «مگر شما خودتان قبلاً ننوشته بودید که این اصول علی‌رغم دارا بودن منشأ تجربی، اکنون دیگر در معرض ابطال به وسیلهٔ تجربه نیستند، زیرا همگی مبدل به مشتی قرارداد گردیده‌اند؟ اما الان دارید می‌گویید فتوحاتی که اخیراً نصب آزمایشگران شده است این اصول را با خطر مواجه کرده است.»

بسیار خوب، قبلاً حق با من بود و امروز هم به خطا نرفته‌ام. قبلاً حق با من بود و آنچه امروزه دارد روی می‌دهد تأییدی دیگر بر آن است. بگذارید برای مثال، آزمایش گرماسنجی کوری را با رادیوم در نظر بگیریم. آیا امکان دارد بتوان آن را با اصل بقای انرژی آشتی داد؟ اقدامات بسیاری صورت گرفته‌اند تا این آشتی انجام پذیرد؛ اما از میان این آنها یکی هست که می‌خواهم نظرتان را به آن جلب کنم. توضیحی که در نظر دارم، همان نیست که امروزه در حال تفوق پیدا کردن است، اما یکی از توضیحاتی است که مطرح شده است. در این توضیح، رادیوم واسطه‌ای تصور می‌شود که کارش فقط ذخیرهٔ تشعشعات ناشناخته‌ای است که در تمام جهات فضا پخش‌اند و از داخل همهٔ اجسام، به استثناء رادیوم، بدون اینکه خود تغییری پذیرند یا هیچ‌گونه اثری بر این اجسام بر جا گذارند، عبور می‌کنند. تنها رادیوم است که می‌تواند کمی از انرژی این تشعشعات را تصاحب کرده و بعد آن را به اشکالی گوناگون پس دهد.

چقدر این فرضیه مناسب و مفید است! اولاً حقانیت آن را نمی‌توان ارزیابی کرد و در نتیجه فرضی است که ابطال نمی‌پذیرد. ثانیاً، این فرضیه قادر است خطر هرگونه تناقضی را با اصل مایر دفع کند؛ نه‌تنها می‌تواند از پیش ایرادات کوری را جواب دهد، بلکه توانایی دارد تا اشکالات دیگری را نیز که آزمایشگران در آینده جمع‌آوری می‌نمایند رفع کند. این انرژی جدید و ناشناخته را می‌توان در هر موردی به‌کار بست.

این دقیقاً عین چیزی است که قبلاً گفته‌ام و از این طریق به‌سهولت می‌توان نشان داد که اصل ما از هرگونه تهدید آزمایش و مشاهده در امان خواهد ماند.

اما با این ترفند چه عاید ما شده است؟ اصل مورد نظر ما سالم و پابرجا باقی مانده است، اما به چه دردی می‌خورد؟ قبل از این به ما قدرت می‌داد تا تحت فلان و بهمان شرایط بتوانیم روی فلان مقدار از انرژی حساب کنیم؛ یعنی حدی را برقرار ساخته بود. اما اکنون که منبع بی‌پایانی از انرژی جدید در اختیار ما نهاده شده است، دیگر محدودیتی در مقابل ما وجود ندارد؛ و من در جای دیگری هم نوشته‌ام که چنانچه اصلی بارآوری خود را از کف داد، مشاهده و آزمایش، بدون اینکه آن را مستقیماً نقض نمایند، محکومش می‌کنند.

پس این راهی نیست که باید برگزیده شود. باید کار سازندگی را دوباره از نو شروع کنیم. اگر ضرورت این بازسازی به ما تحمیل هم شده باشد، نباید دلتنگ شویم. نباید مجبور به این نتیجه‌گیری شویم که در علم هیچ کاری غیر از نوع کار پنه‌لوپه[1] نمی‌توان انجام داد؛ که تنها کاری که از علم بر می‌آید بنا کردن کاخهایی آنچنان سست است که خود به‌زودی وادار به تخریب کامل آنها با دستهای خود می‌گردد.

همان‌طور که گفته‌ام، قبلاً بحرانی شبیه بحران فعلی را پشت سر گذارده‌ایم، من به شما نشان داده‌ام که در دورهٔ دوم فیزیک ریاضی، یعنی فیزیک مبتنی بر اصول عام، به‌خوبی می‌توان آثار باقی‌مانده از دورهٔ اول، یعنی فیزیک مبتنی بر نیروهای مرکزی، را مشاهده کرد. هنگامی‌هم که دورهٔ سومی را درک نماییم، خواهیم دید همین امر در مورد آن نیز صادق است. عیناً مانند جانوری که پوست می‌اندازد، پوشش خارجی خود را که زیادی تنگ شده است از هم می‌درد، و پوشش نو شروع به روییدن می‌نماید. اما زیر این پوشش جدید، همواره می‌توان خصایص اصلی جانوری را که بقا یافته است، تشخیص داد.

جهت گسترش فیزیک ریاضی را در آینده نمی‌توان پیش‌بینی کرد. شاید نظریهٔ جنبشی گازها در این امر پیشتاز شود و الگویی برای سایر زمینه‌ها گردد. در آن صورت، واقعیاتی که در نظر اول ساده جلوه می‌کردند، به شکل برایندی از تعداد بسیار کثیری واقعیت ابتداییتر درخواهند آمد که تنها قوانین احتمالات آنان را به‌سوی غایتی واحد می‌کشاند. در آن صورت، قانون در فیزیک خصلتی کاملاً نو پیدا خواهد کرد، دیگر نه در شکل یک معادلهٔ دیفرانسیل، که در هیأت قانونی آماری تجلی خواهد نمود.

همچنین شاید مجبور شویم مکانیکی کاملاً نوین بنا کنیم، مکانیکی که در حال حاضر تنها می‌توانیم جلوه‌ای مبهم از آن را در تصور آوریم، مکانیکی که در آن لختی متناسب با سرعت افزایش پیدا می‌کند و سرعت سیر نور هم مرزی را تعیین می‌نماید که عبور از آن امکان‌پذیر نخواهد بود. مکانیک ساده‌تری که با آن خوگرفته‌ایم، به‌صورت تقریبی اولیه کماکان حفظ خواهد شد زیرا اعتبار آن برای سرعتهایی‌که زیاد کلان نیستند همواره باقی خواهد ماند، و اصول دینامیکی قدیمی را می‌توان در اصول جدید بازیافت. دلیلی نخواهیم داشت که از اعتقاد قبلی خود به اصول قدیم تأسف بخوریم. به‌راستی هم از آنجا که سرعتهای کلانی که معادلات قدیمی را تاب کنار آمدن با آنها نبود همواره حالت استثنا بودن خویش را حفظ خواهند کرد، عاقلانه‌تر این است که در عمل طوری رفتار کنیم که گویی هنوز به این معادلات پایبندیم. اینان به‌قدری ثمربخش هستند که منزلتشان باید کماکان حفظ شود. چنانچه کمر به طرد کامل آنها بر بندیم، تنها حاصلی که عایدمان می‌شود محرومیت از نعمتِ در درست داشتن اسلحه‌ای گرانبها خواهد بود. در خاتمه باید خاطرنشان سازم که هنوز ما در تنگنایی قرار نگرفته‌ایم که چشم‌پوشی از این معادلات را به ما تحمیل کند و تابه‌حال هم هیچ چیز ثابت نکرده است که اینان نخواهند توانست از این ورطه، پیروزمندانه جان سالم بدر برند.

---

۱. پنه‌لوپه (Penelope) در اساطیر قدیم یونان همسر عفیف و باوفای زئوس بود که زمانی در غیبت وی با خواسته‌های نامشروع عده‌ای از شیفتگانش روبه‌رو گردید. برای دفع شر از خود به آنها قول داد زمانی خواستهٔ آنان را اجابت خواهد کرد که لباسی را که در دست دوخت دارد به اتمام برساند. بدین‌ترتیب تا زمان بازگشت شوهرش کار وی این بود که هر شب هر آنچه را که طی روز به دقت دوخته بود مخفیانه از هم بشکافد.ـم.