

جایگاه مشاهده و نظریه در فرآیند تدوین و پذیرش نظریه نسبیت

رضیه برجیان^۱، علی عباسی^۲

چکیده

در این مقاله از طریق یک مطالعه موردی، یعنی بررسی نظریه نسبیت خاص و عام اینشتین و نسبت آن با مشاهده و نظریه و ارزیابی چگونگی بهره‌گیری اینشتین از نظریات فلسفی رایج در زمان خود و نحوه استفاده او از مشاهدات تجربی برای تدوین نظریه‌اش، نشان می‌دهیم که رابطه بین نظریه و مشاهده، یک رابطه خطی و مستقیم نیست. همچنین بیان می‌کنیم که در فیزیک مدرن، آزمودن نظریات به سادگی میسر نیست. بنابراین عوامل بسیاری بر روند تدوین و پذیرش نظریه از طرف جامعه علمی تأثیر می‌گذارند.

واژگان کلیدی: مشاهده، نظریه، نظریه نسبیت.

rborjian@gmail.com

۱. دانشجو کارشناسی ارشد فیزیک دانشگاه آزاد واحد تهران مرکزی

abbasi.8177@gmail.com

۲. استادیار و عضو هیئت علمی جامعة المصطفی العالمیة

مقدمه

می‌دانیم که مفاهیم کلی، نظریه‌ها، مشاهده‌های خالص و داده‌های تجربی، مؤلفه‌های بنیادی علم جدید هستند. البته سؤال بنیادی این است که چگونه نظریه با مشاهدات و داده‌های تجربی ارتباط پیدا می‌کند؟ از دوران "بیکن" و "میل" دیدگاه استقرایی بر این باور بوده است که دانشمند کار خود را با مشاهده آغاز کرده و با تعمیم الگوهای موجود در داده‌ها، نظریه‌ها را صورت‌بندی می‌کند. البته برای آنکه نظریه‌ای از لحاظ علمی سودمند باشد لازم است به‌طور تجربی آزموده شود. اما آیا آزمون تجربی برای پذیرفتن یک نظریه کافی است؟ فیلسوفان علم به این سؤال پاسخ‌های متفاوتی داده‌اند. تجربه‌گرایان مدعی کفایت تجربه‌اند و ابطال‌گرایان تجربه را تنها برای رد نظریات کافی می‌دانند، نه تأیید نهایی نظریات (چالمرز، ۱۳۸۹، ص ۵۱).

فایراند تأکید می‌کند که دانشمندان برای رها کردن یا پذیرفتن یک نظریه، تنها به مشاهدات تجربی نظر نمی‌کنند. از نظر وی دومین ضد قاعده ارج نهادن به فرضیه‌های ناسازگار با مشاهدات و پدیده‌ها و نتایج آزمایش‌هاست (فایراند، ۱۳۷۵، ص ۵۷).

گرچه هر نظریه ما را به پیش‌بینی بعضی از مشاهده‌ها به جای برخی دیگر هدایت می‌کند؛ اما این هدایت اغلب همراه با مجموعه‌ای از پیش‌فرض‌ها، فرضیه‌های کمکی و قوانین مطابقت است که مشاهده و نظریه را به هم مربوط می‌سازند و ما هرگز نمی‌توانیم یک نظریه را به‌تنهایی بیازماییم. بلکه هر نظریه صرفاً به‌عنوان بخشی از شبکه نظریه‌ها آزمون‌پذیر است (باربور، ۱۳۹۲، ص ۲۵۹).

توماس کوهن هر دوی نظریه‌ها و داده‌های تجربی را تابع پارادایم‌های رایج جامعه علمی می‌داند. از نظر او پارادایم دسته‌ای از پیش‌فرض‌های مفهومی مابعدالطبیعی و روش‌شناختی است که در سنتی علمی تبلور یافته است. با ظهور یک پارادایم جدید، اطلاعات و تجارب قبلی مجدداً تفسیر می‌شوند و به شیوه‌ای جدید فهمیده می‌شوند. در

این پارادایم جدید است که احساس می‌شود به اطلاعات جدید نیاز است و در پرتو این نیاز، تجارب جدید آغاز می‌گردند.

از منظر کوهن، هیچ قاعده‌ای بر انتخاب پارادایم‌ها حاکم نیست و ما هیچ قاعده‌ای برای استعمال معیارهای علمی یا قضاوت درباره اهمیت خاص آنها در دست نداریم. ارزیابی آنها صرفاً نوعی قضاوت است که جامعه علمی انجام می‌دهد (راسل، ۱۳۸۶، ص ۸۶). بر اساس مکتب اصالت تجربه، «علم از تجربه آغاز می‌کند و به آن ختم می‌شود» (cushing, 1998, p.21). حتی اصول اولی عقلی نیز حاصل تجربه حسی هستند. به عبارت دیگر، کل معرفت ما نسبت به جهان خارج مأخوذ از تجربه است. از منظر ایشان، مشاهده خام و فارغ از پیش‌فرض‌های ذهنی می‌تواند اتفاق بیفتد و مبدأ و منشأ فرضیه‌سازی قرار بگیرد.

در مقابل ایشان، عده‌ای بر این باورند که همه داده‌ها انباشته از نظریه‌اند و درواقع هیچ زبان مشاهدتی که عاری از نظریه باشد وجود ندارد. نظریه‌ها از راه‌های بسیاری بر مشاهده تأثیر می‌نهند. گزینش پدیده‌ها برای مطالعه و نیز انتخاب متغیرهایی که برای اندازه‌گیری مهم هستند، وابسته به نظریه‌اند. شکل پرسش‌هایی که می‌پرسیم، نوع پاسخ‌هایی که دریافت می‌کنیم را معین می‌کنند و اینها تماماً نوع تبیین علمی را جهت می‌دهند. در سرتاسر تاریخ، از زمان ارسطو تا رنسانس، مدل تبیین علمی تغییر نکرده بود. تبیین کردن چیزی از لحاظ علمی، همان مبرهن کردن آن با یک قانون همگانی است که آنها غالباً متضمن واژه‌های نظری‌اند. یعنی به‌طور مستقیم به مشاهده ارجاع داده نمی‌شوند (کاپالدی، ۱۳۷۷، ص ۳۱۲). این واژه‌ها قطعاً مأخوذ از تجربه نیز نیستند. پس باید ریشه آنها را در پیش‌فرض‌های فلسفی - اجتماعی جستجو کرد. این واژه‌ها به‌عنوان شاه‌کلیدهای پژوهش، سیر تحقیقات تجربی و آزمون‌ها را معین می‌کنند اساساً آزمون‌ها در پی یافتن روابط بین واژه‌های نظری‌اند. برخی در پی یافتن این روابط و برخی در پی تأیید تجربی روابط پیشنهادی بین این واژه‌های نظری‌اند.

البته در اینجا نیز مسئله ساده نیست. پولایینی معتقد است که ارزیابی شواهد همیشه عملی اختیاری و همراه با صلاح‌دید و قضاوت شخصی است. هیچ‌گونه قاعده‌ای وجود ندارد که مشخص کند هرگاه بین یک نظریه و یک آزمایش اختلاف پیش آمد، باید آزمایش را به‌عنوان موردی از بی‌قاعدگی و انهداد یا اعتبار نظریه را مردود شمرد. این التزام به عقلانیت است که چنین تصمیماتی را از دل‌بخواهی بودن مصون می‌دارد. به این ترتیب فعالیت علمی

امری شخصی است نه ذهنی. او مشارکت در جامعه علمی را محافظ دیگری برای تضمین انتخاب صحیح می‌داند (راسل، ۱۳۸۶، ص ۸۸-۸۹).

کواین معتقد است جدیدترین ادعای علمی درباره پوزیترون و این گزاره که قلم در دستم هست، هردو به یک اندازه گزاره‌هایی فیزیکی هستند و ما به این اشیاء فیزیکی فقط به این اعتبار علم داریم که اجزای یک ساختار مفهومی منظم را تشکیل می‌دهند؛ ساختاری که چون کل واحدی فقط لبه‌هایش به تجربه اصابت می‌کند. تا آنجاکه پای معرفت در میان است، نمی‌توان برای مجموعه این تأییدات چیزی بیش از این ادعا کرد که دستگاه پیچیده است؛ ولی روابط و قضایایی داریم که یک سلسله از تجارب را به تجارب دیگر ربط می‌دهد (اعتماد، ۱۳۷۵، ص ۷۹). این تأثیر بی‌بدیل جامعه علمی همان قدر که می‌تواند متأثر از پیش‌فرض‌های فلسفی و آزمایش‌های موجود باشد، از اهداف شخصی، خصومت‌ها و رفاقت‌ها و دعوای سیاسی عقیدتی نیز متأثر است. ما نمونه‌ای از این تأثیر را در جریان رد نظریه حد جرم کوتوله سفید چاندراسخا و پذیرش آن بعد از چند دهه شاهد هستیم (Cropper, 2001, p 443-445).

تمام این گروه‌ها برای تأیید نظرشان شواهدی از تاریخ علم، خصوصاً علم فیزیک ارائه می‌دهند. یکی از نظریاتی که بسیاری از این گروه‌ها برای اثبات مدعایشان به آن استناد می‌کنند، نظریه نسبیت است. نظریه نسبیت یکی از دو نظریه‌ای است که نگاه ما به جهان را در قرن بیستم تغییر داد و سرآغاز پرسش‌ها و تحقیقات جدیدی شد که بدون آن (نسبیت) هرگز این سؤالات و تحقیقات در علم فیزیک مطرح نمی‌شد. ما در این مقاله به مطالعه موردی رابطه نسبیت خاص و نسبیت عام با مشاهده و نظریه در دو مرحله تدوین و پذیرش آنها می‌پردازیم.

زمینه‌های شکل‌گیری نسبیت خاص

قبل از تدوین نظریه نسبیت، دو نگرش کلی «ذره‌ای و موجی» پایه‌پای هم پیش می‌رفتند. نگرش ذره‌ای، مکانیک نیوتنی را شکل می‌داد و پدیده‌هایی چون گرانش، حرکت و ... را صورت‌بندی می‌کرد و نگرش موجی نیز در قالب معادلات ماکسول، پدیده‌های الکتریکی، مغناطیسی و نور را تبیین می‌نمود. در این دوره تنها یک مفهوم پذیرفته شده از فضا و زمان وجود داشت که بسیاری آن را لایتغیر می‌دانستند؛ تا آنجاکه کانت آن را از مفاهیم پیشینی به حساب می‌آورد.

چالش اصلی پیش‌روی فیزیکدانان نظری که نمی‌توانستند از ایده یک قانون عمومی

برای تبیین همه پدیده‌های جهانی دست بردارند، این بود که مکانیک نیوتنی با تبدیلات گالیله و معادلات ماکسول با تبدیلات لورنتس سازگار بود. این تفاوت فاحش و اینکه اگر تبدیلات گالیله را در مورد نور به کار می‌بردند سرعت نور - که در الکترومغناطیس مقدار ثابت c به دست آمده بود - از یک دستگاه لخت به دستگاه لخت دیگر تغییر می‌کرد، به مذاق اینشتین و دیگر فیزیکدانان خوش نمی‌آمد. آنها ترجیح می‌دادند که یک نظریه متقارن و منسجم داشته باشند نه دو نظریه ناسازگار. در واقع گالیله تبدیلاتش را با فرض بی‌نهایت بودن سرعت نور نوشته بود؛ چیزی که در زمان او به لحاظ تجربی مسلم انگاشته می‌شد. سال‌ها بعد از او اولین آزمایش‌هایی که سرعت نور را بی‌نهایت به دست نمی‌دادند انجام شد. اما فیزیکدانان از این نکته چشم‌پوشی کردند و این تبدیلات را تا وقوع چالش‌های بعدی معتبر دانستند.

در کنار این چالش‌های نظری، فیزیکدانان تجربی در پی یافتن چیزی به نام «اتر» بودند که به عنوان یک محیط، امواج الکترومغناطیسی در آن منتشر می‌شد؛ اما آزمایش‌های آنها یکی پس از دیگری به شکست می‌انجامید. یافتن اتر از دو جهت برای فیزیکدانان اهمیت داشت؛ یکی اینکه آنان با یافتن اتر، محیط انتشار امواج الکترومغناطیسی را پیدا می‌کردند و خصوصیاتش را در معرض آزمون می‌نهادند، و دیگر اینکه - چون اتر تنها دستگاهی بود که در آن سرعت نور c بود - آنها دستگاهی متمایز می‌یافتند که اتر نسبت به آن ساکن بود. آنها به این طریق، یک آزمون فیزیکی برای مشخص کردن یک چارچوب مطلق (یا ساکن) می‌یافتند؛ چیزی که اصل هم‌ارزی بر نبودنش بنا نهاده شده بود (رزنیک، ۱۳۸۱، ص ۱۶-۱۷).

فیزیکدانان ناچار بودند برای توجیه به سادگی آشکار نشدن اتر، برای آن خواصی غیرعادی (مثل چگالی صفر و شفافیت کامل) در نظر بگیرند. تنها وقتی می‌شد اتر را آشکار کرد که ناظری در اتر با سرعت v حرکت کند و سرعت نور را $v+c$ اندازه بگیرد. مایکلسون و مورلی برای یافتن این نتیجه، دست به آزمایش زدند. البته در این آزمایش ناکام ماندند (رزنیک، ۱۳۸۱، ص ۱۸-۲۲). این آزمایش برخی از فیزیکدانان را به این نتیجه رساند که باید سرعت نور در تمام دستگاه‌های لخت، برابر c باشد (همان، ص ۲۵).

البته آزمایش مایکلسون و مورلی بارها تکرار شد؛ مثلاً در سال ۱۹۲۰ میلادی، میلر به تشویق اینشتین و لورنتس آزمایش مایکلسون و مورلی را تکرار کرد. آزمایش‌های وی بسیار دقیق‌تر از آزمایش مایکلسون و مورلی بود. در کمال تعجب، نتایج آزمایش وی اتر را تأیید

کرد. بعد از آن، مایکلسون در سال ۱۹۳۰ آزمایشش را در همان آزمایشگاه تکرار کرد. در آزمایش او اثر مشاهده نشد. سپس میلر در مقاله‌ای نشان داد که مایکلسون در آزمایشش کلیه شرایط آزمایش او را رعایت نکرده است (زیباکلام، ۱۳۸۲، ص ۱۷۶-۱۷۷).

یکی دیگر از چالش‌های نظری، چارچوب‌های لخت و تعیین مصادیق آن بود. چارچوب‌های لخت چارچوب‌هایی هستند که سرعتشان نسبت به یکدیگر ثابت است. این اصطلاح اولین بار در فیزیک نیوتنی به کار رفت.

نیوتن نظریه‌اش را بر چند اصل (موضوع) بنا نهاد. از جمله آنها این بود که قوانین فیزیک در چارچوب‌های لخت، شکل یکسانی دارند. این اصل هم‌ارزی دستگاه‌های لخت نامیده می‌شود. او می‌گفت شما هرگز با یک طراح آزمایشی فیزیکی نمی‌توانید بفهمید کدام یک از دو چارچوبی که با سرعت ثابت نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند ساکن، و کدام یک متحرک است.

او مدعی بود که همه حرکات را صرفاً باید حرکاتی نسبی شمرد (هرگاه تنها به تصویری که در ذهن ما ایجاد می‌کنند، توجه کنیم)؛ مثلاً وقتی قطاری از کنار خاکریز می‌گذرد، می‌توان واقعیتهایی که روی می‌دهد را به دو صورت بیان کرد که هر دو به یک اندازه موجه هستند:

۱. واگن نسبت به خاکریز در حرکت است.

۲. خاکریز نسبت به واگن در حرکت است.

در مثال بالا، در گزینه (۱) خاکریز جرم و چارچوب مرجع است و در گزینه (۲) واگن. از نظر اصول هم اهمیتی ندارد که حرکت نسبت به چه جسمی مقایسه می‌شود.

این اصل نه تنها عنوان می‌کند که واگن و خاکریز به‌عنوان چارچوب‌های مرجع، به یک اندازه کارآمد هستند و ما می‌توانیم برای توصیف یک رویداد هر کدام را که بخواهیم اختیار کنیم، بلکه تصریح می‌کند اگر قوانین عمومی طبیعت را چنان بنویسیم که در آن یک‌بار خاکریز چارچوب مرجع باشد و بار دیگر واگن قطار، در هر دو مورد شکل این قوانین عمومی طبیعت درباره قوانین مکانیک یکی خواهد بود.

دانشمندان همیشه به یافتن چنین قوانین عمومی و ثابت برای طبیعت علاقه‌مند بوده‌اند تا بتوانند پدیده‌های متغیر را به سادگی تبیین کنند. این به‌نوعی متضمن اصل سادگی است که «ویلیام اکام» بر آن پافشاری می‌کند. او می‌گوید باید تبیینی را بپذیریم که کمترین

پیچیدگی را دارد و از همه تبیین‌ها ساده‌تر است و باید هنگامی که می‌توانیم چیزی را بدون جعل یا فرض موجودات اضافی تبیین کنیم، موجوداتی اضافی را برای تبیین کردن جعل نکنیم (کاپالدی، ۱۳۷۷، ص ۷۶).

اما بعد از آن، فیزیکدانان باید دست به انتخاب می‌زدند یا می‌پذیرفتند که موج می‌تواند بدون محیط انتشار منتشر شود. یعنی تن به بازخوانی مفهوم موج می‌دادند یا اثر را می‌پذیرفتند و از مفهوم جسم صلب دست می‌کشیدند یا تغییری از فهمشان از فضا و زمان را می‌پذیرفتند. در این دو صورت اخیر، به نظر نمی‌رسید حفظ چارچوب‌های لخت هم‌ارز به‌سادگی میسر باشد. رها کردن هیچ‌کدام از این پیش‌فرض‌ها ساده نبود. در این زمان (حدود سال ۱۸۹۲)، فیتزجرالد و لورنتس فرضیه‌ای را مطرح کردند که در آن فرضیه، تمام اجسام در جهت حرکت خود نسبت به اثر ساکن منقبض می‌شدند و البته طول‌های عمود بر جهت حرکت، در اثر حرکت تغییر نمی‌کرد. لورنتس این انقباض را به‌وسیله نظریه الکترونی خود در مورد ماده توضیح می‌داد که نمی‌شد دیگر نتایج آن را از طریق تجربه به‌دست آورد. این نظریه با آزمایش دیگری که در آن طول بازوهای تداخل سنج مایکلسون - مورلی برابر نبود، آزموده شد و شکست خورد.

فرضیه کشش اتری موضوع آزمایش‌های بعدی قرار گرفت. این فرضیه با هر دو نظریه مکانیک و الکترومغناطیس سازگار بود. اما از پس دو آزمون «ابراهی ستاره‌ای» و «ضریب همرفت فیزو» بر نمی‌آمد (رزنیک، ۱۳۸۱، ص ۲۷-۲۸).

پژوهش‌های نظری لورنتس در مورد پدیده‌های نورشناختی و الکترودینامیکی اجسام متحرک نشان می‌داد که در این قلمرو تجربه بی‌کم‌وکاست به نظریه‌ای برای پدیده‌های الکترومغناطیسی منتهی می‌شود که قانون ثابت بودن نور خلاً پیامد ضروری آن است. در این گیرودار بود که نظریه نسبیت قدم به میدان نهاد و در پی تحلیلی که از مفاهیم فیزیکی زمان و فضا به عمل آمد، آشکار شد که میان اصل هم‌ارزی و قانون انتشار نور کمترین تعارضی وجود ندارد و چون این دو قانون به‌صورت سیستماتیک اعمال شدند، می‌توان به نظریه منسجمی دست یافت (اینشتین، ۱۳۷۸، ص ۳۳-۳۴).

اینشتین در مقاله خود درباره «الکترودینامیک اجسام متحرک» نوشت: «... هیچ‌یک از ویژگی‌های واقعیت‌های مشاهده‌شده با مفهوم سکون مطلق ارتباط ندارد ... برای تمام دستگاه‌هایی که معادلات مکانیک در آنها برقرار است، معادلات الکترودینامیکی و اپتیکی

معادل نیز برقرار خواهد بود در ادامه، این فرض‌ها را - که بعداً آنها را اصل نسبیت^۱ خواهیم نامید - در نظر می‌گیریم و فرض دیگری را نیز وارد می‌کنیم که در اولین نظر با فرض قبلی کاملاً مغایر است و آن اینکه نور در خلأ با سرعت c مستقل از ماهیت حرکت چشمه آن منتشر می‌شود. این دو فرض برای بیان یک نظریه ساده و سازگار الکترودینامیک اجسام متحرک بر پایه نظریه ماکسول برای اجسام ساکن کاملاً کافی هستند» (هادی‌پور، ۱۳۸۲، ص ۳۵).

البته اینشتین برای انجام چنین کاری از تبدیلاتی که لورنتس قبلاً پیشنهاد داده بود استفاده کرد. اما بر خلاف لورنتس - که تغییر طول جسم در راستای حرکت نسبت به اتر را تغییری ظاهری می‌دانست نه واقعی - او این تغییر را تغییری واقعی به حساب آورد. وی به دلیل این انتخاب در مفاهیم فضا و زمان دست برد. او در کتابش می‌نویسد: «نخست شانه از زیر بار کلمه مبهم فضا خالی می‌کنیم؛ زیرا باید در کمال صداقت اعتراف کرد که به هیچ‌روی نمی‌توان تصویری از آن در ذهن پدید آورد» (اینشتین، ۱۳۷۸، ص ۲۶).

او بیان می‌کند که باید عدم دقتی را که از متناهی بودن سرعت انتشار نور حاصل می‌شود، در محاسبات و فهم ما از فضا و زمان لحاظ گردد (همان).

او با تکیه بر روش اندازه‌گیری فاصله دو رویداد از هم که جز از طریق تبادل سیگنال‌های نوری برای هم‌زمان کردن ساعت‌ها ممکن نیست، مفهوم هم‌زمانی را زیر سؤال می‌برد (همان، ۳۵-۳۸).

درواقع چیزی که اینشتین را به ارائه این پیشنهاد انقلابی هدایت کرد، نگرانی‌های او در مورد ماهیت زمان بود (رزینیک، ۱۳۸۱، ص ۳۸). نگرش او به مفهوم زمان و اینکه متأثر از ماخ، تنها برای مفاهیم سنجش‌پذیر و قابل اندازه‌گیری اعتبار قائل بود، او را به این انتخاب رهنمون شد.

مقدمات شکل‌گیری نسبیت عام

قانون اول نیوتن، آزمونی برای مشخص کردن و بیرون کشیدن چارچوب‌های لخت از میان چارچوب‌های صلب است. هنگامی چارچوب صلب را لخت می‌نامیم که ذرات آزاد نسبت به آن شتاب نداشته باشند. اما چون همه ذرات تحت تأثیر گرانش هستند، هیچ ذره‌ای در

۱. همان اصل هم‌ارزی دستگاه‌های لخت.

نزدیکی یک جرم سنگین آزاد نیست.

بنابراین یکی از چالش‌های عمده پیش‌روی فیزیکدانان نظری، یافتن چارچوب لخت در جهان خارج بود. گرانش باعث می‌شد که ذرات شتاب بگیرند. البته گرانش در همه جا بود. پس نمی‌شد ناظرهایی (ذراتی) را یافت که شتاب نداشته باشند [و با سرعت ثابت حرکت کنند]. در نتیجه فیزیکدانان باید برای تحقق معیار حرکت یک‌نواخت، مناطقی را می‌یافتند که به اندازه کافی از هر ماده جاذبی دور باشد. وصول به این معیار سخت بود. بنابراین فیزیکدانان عملاً با چارچوب‌های به اندازه کافی (تقریباً) لخت به جای چارچوب‌های لخت کار کرده و می‌کنند؛ گرچه این پرسش باقی می‌ماند که چرا نیوتن به سمت تعریف چنین چارچوب‌هایی که عملاً قابل دست‌یابی نبودند رفت و نظریه‌اش را بر آن بنا نهاد؟

در مکانیک نیوتنی گرچه سرعت نسبی است، اما در مکانیک نیوتنی و نسبییت خاص شتاب مطلق است. به این معنا که هرچند ممکن است به دلیل نبود آزمونی قاطع برای مشخص کردن حرکت و سکون کشتی، شک کرد که کشتی ساکن است یا متحرک. اما اگر همان کشتی با کوهی از یخ برخورد کند، هیچ شکمی وجود نخواهد داشت که با این برخورد، هم سرعت کوه یخ تغییر می‌کند و هم سرعت کشتی. این تغییر سرعت را با آزمایش‌های متنوعی می‌توان تجربه کرد.

تمام این آزمایش‌ها، مقاومت ذره در برابر تغییر (شتاب) را نشان می‌دهند. این شتاب نسبت به چارچوب‌های لخت (بی‌شتاب) است. سؤال اساسی‌ای که در اینجا مطرح است این است که چرا چارچوب‌های لخت از دیگر چارچوب‌ها متمایزند و قوانین فیزیک تنها از یک چارچوب لخت به چارچوب لخت دیگر باید هم‌وردا (لایتغیر) بمانند؟ نیوتن به جای پاسخ به این پرسش، از فضای مطلق و برهم‌کنش ماده با آن سخن گفته بود و اینکه فضای مطلق در مقابل تغییر سرعت جسم مقاومت می‌کند که آن را با m نشان داد. از نظر نیوتن فضای مطلق همان اتر بود.

بر مفهوم فضای مطلق همیشه انتقاداتی مطرح بوده است که عبارتند از:

۱. فضای مطلق صرفاً «وصفی» است و هیچ چیزی را توضیح نمی‌دهد.
۲. هیچ راه واحدی برای مشخص کردن فضای مطلق نیوتنی از میان تعداد نامتناهی چارچوب لخت وجود ندارد.

۳. تصور چیزی که کنش ندارد اما مورد کنش واقع می‌شود، سخت است.

اینشتین به‌نوعی نظریه نسبیت عامش را با سؤالی که نیوتن بی‌پاسخ گذاشته بود شروع کرد؛ به‌خصوص زمانی که آزمایش اتووش نشان داده بود که با دقت بسیار زیاد [می‌توان فهمید] تفاوتی میان مقدار جرم لختی و گرانشی وجود ندارد.

اتووش در سال‌های ۱۹۱۸-۱۹۱۹ با طرحی زیرکانه توانست دقت اندازه‌گیری نسبت جرم لختی به جرم گرانشی را افزایش دهد (نیوتن پیشنهاد داده بود برای این سنجش از آونگ استفاده شود).

اتووش از ترازوی پیچشی استفاده کرد. اگر نسبت نیروی لختی به نیروی گرانشی برای دو جسم متفاوت باشد، یک گشتاور یا نیروی پیچشی به‌وجود خواهد آمد که میله را حول محور قائم می‌چرخاند. آزمایش‌ها چنین انحرافی را نشان ندادند. دقت این آزمایش یک در میلیارد بود (ویل، ۱۳۸۳، ص ۴۵-۴۶).

نتایج آزمایش اتووش پیامی بنیادی و بسیار مهم برای ما دارد. این نتیجه‌ها به ما نشان می‌دهد که فضا - زمان خمیده است (همان، ص ۳۲).

اینشتین این مشاهده ساده تجربی را که همه اجسام با شتاب یکسان سقوط می‌کنند، پایه نظریه نسبیت عام خود قرار داد و با آن، یک آزمایش فکری ساخت و آن را نیز یکی از مبانی نظریه خود قرار داد (همان، ص ۳۴).

در مکانیک نیوتنی، "جرم لختی" مقاومت جسم در مقابل تغییر سرعت بود و "جرم گرانشی" نمایانگر تأثیر جاذبه گرانشی بر اجسام. اینشتین معتقد بود چون ما دلیلی برای گزینش چارچوب‌هایی که نسبت به هم حرکت یک‌نواخت (شتاب صفر) دارند نداریم، باید بپذیریم که تمام چارچوب‌های صلب با هم هم‌ارزند؛ چه نسبت به هم با سرعت ثابت حرکت بکنند و چه اینکه نسبت به هم شتاب ثابتی داشته باشند. اینشتین در کتاب نسبیت خود این مطلب را این‌گونه توضیح می‌دهد: «تاکنون هرگز به هم‌ارزی تمام اجسام مرجع k از نظر تدوین قوانین طبیعی قائل نبوده‌ایم. سیر حرکت ما بیشتر بر خطوط زیر بوده است. نخست فرض کردیم جسم مرجعی همچون k وجود دارد که وضع حرکت آن به‌صورتی است که قانون گالیله بر آن صدق می‌کند. اگر ذره‌ای به حال خود رها شود و به‌اندازه کافی از ذرات دیگر دور باشد، به‌صورت یک‌نواخت بر خط مستقیم حرکت می‌کند. نسبت به k (چارچوب مرجع گالیله‌ای) قوانین طبیعت باید به ساده‌ترین صورت ممکن باشند. ولی

علاوه بر k ، همه اجسام مرجع دیگر نیز که نسبت به k در حالت حرکت یک‌نواخت در یک خط مستقیم و غیر دورانی هستند، باید به همین معنی مرجع شمرده شوند و برای تدوین قوانین طبیعی کاملاً هم‌ارز با k باشند (رزنیک، ۱۳۸۱، ص ۷۸)؛ چراکه تا وقتی واگن در حال حرکت یک‌نواخت باشد، مسافر قطار حرکت آن را حس نمی‌کند. اما اگر قطار ترمزی شدید بگیرد، مسافر نیز تکان شدیدی را به جلو حس می‌کند و در رفتار مکانیکی اجسام نسبت به مسافر قطار، حرکتی به عقب مشهود است.

مسافر داخل قطار می‌تواند این حرکت غیر یک‌نواخت را به شتاب واقعی (کند شدن قطار) نسبت دهد. او می‌تواند تجربه خود را به این صورت هم تفسیر کند که: «جسم مرجع من همواره ساکن است. اما نسبت به آن، میدان گرانشی وجود دارد (در حین ترمز کردن) که به جلو متوجه است و با زمان تغییر می‌کند. تحت تأثیر این میدان خاکریز و زمین، حرکتی دارند که یک‌نواخت نیست و این حرکت چنان است که پیوسته از سرعت اولی آنها به عقب کاسته می‌شود».

بدین ترتیب، اینشتین که در نسبت خاصش نمی‌توانست فضا و زمان را مستقل از دیگری اندازه بگیرد و لذا آن را یک پیوستار چهاربعدی در نظر گرفته بود، اکنون در ادامه مسیرش فضا - زمان منحنی را انتخاب کرد تا بتواند چارچوب‌های لخت فیزیک نیوتنی را که هیچ‌گاه مشاهده نمی‌شوند، از سر راه بردارد. او خود چندین آزمون تجربی برای محک زدن نظریه‌اش پیشنهاد داد.

نظریه نسبیت در کش‌وقوس تأیید و رد تجربی

اینشتین در سال ۱۹۰۷ پدیده دوپلر نسبیتی را برای آزمون نظریه نسبیت پیشنهاد داد. او پیشنهاد کرد اگر تابش ساطع شده از اتم‌هایی که با سرعت بالا حرکت می‌کنند را اندازه بگیریم، شاید بتوانیم اثر دوپلر نسبیتی را مشاهده کنیم (هادیپور، ۱۳۸۲، ص ۹۲).

در سال ۱۹۶۳، «کوندیگ» یکی از بهترین آزمایشاتی که اثر عرضی دوپلر را محاسبه کرده است را ارائه داد. این آزمایش تأییدی بر نظریه نسبیت بود (Kundigi, 1893).

او بعدها طی سال‌های ۱۹۱۵-۱۹۱۷ نسخه‌های نسبیت عام خود را همراه با چند آزمون مختلف برای تأیید یا رد نظریه‌اش پیشنهاد داد. این آزمون‌ها عبارتند از: پیش افتادن حوض تیر (عطارد)، انتقال به سرخ گرانشی و انحراف نور در عبور از کنار خورشید.

البته، پیش افتادن حضيض عطارد را لووریه در سال ۱۸۴۳ محاسبه کرده بود. در واقع نظریه گرانش نیوتن، چرخشی را برای مدار تیر بر دور خورشید پیش‌بینی می‌کرد که ۴۳ ثانیه کمتر از مقدار رصدی آن بود (ویل، ۱۳۸۳، ص ۱۱۱-۱۱۳). اینشتین با نظریه خود مدار عطارد را محاسبه کرد و دید تصحیحات نسبی، دقیقاً ۴۳ ثانیه در قرن به چرخش مدار عطارد نسبت به نظریه گرانش نیوتن اضافه می‌کند. این یک موفقیت برای نظریه نسبیت بود. این نظریه یک پدیده را - که ذهن فیزیکدانان را به خود مشغول داشته بود - تبیین می‌کرد. اما در واقع این محاسبه تأثیر چندانی بر تأیید و جدی گرفتن این نظریه از سوی فیزیکدانان نداشت.

یکی دیگر از محاسباتی که اینشتین انجام داد، محاسبه میزان انحراف نور در هنگام عبور از کنار خورشید بود. در واقع این اثر را نیز اولین بار «جان مایکل» در سال ۱۷۸۳ پیش‌بینی کرد. او استدلال کرد که اگر نور ذره است، باید مثل ذرات معمولی بر اثر گرانش جذب شود (نیوتن نور را نیز متشکل از ذرات می‌دانست). او حتی مدعی شد اگر جسمی به چگالی خورشید قطری ۵۰۰ برابر خورشید داشته باشد، نور هیچ‌وقت نمی‌تواند از میدان جاذبه آن فرار کند (همان، ص ۸۳). بعدها «زولدنر» با فرض اینکه نور ذره است، انحراف پرتوی نور از کنار خورشید را مطابق نظریه نیوتن محاسبه کرد. مقداری که او به دست آورد، ۸۷۵ هزارم ثانیه بود. او نتایج به دست آمده خود را در سال ۱۸۰۳ منتشر کرد (همان، ص ۸۴). البته چون نظریه موجی نور در اوج خود بود، این نظریه جدی گرفته نشد. اینشتین در سال ۱۹۱۱ انحراف پرتوی نور از کنار خورشید را ۸۷۵ هزارم ثانیه برآورد کرد (همان، ص ۸۵). اما در محاسبات مجدد خود در سال ۱۹۱۵، دو برابر این مقدار را به دست آورد. اینشتین در این محاسبات جدید، اثر خمش فضا را نیز در نظر گرفته بود (همان، ص ۸۹).

در سال ۱۹۱۸، «ادینگتون» با همکاری دو گروه - یکی در افریقای جنوبی و دیگری در برزیل - از کسوف خورشید عکس گرفت تا [به کمک آنها] بتواند میزان انحراف نور سایر ستارگان کنار خورشید را اندازه بگیرد (زیباکلام، ۱۳۸۲، ص ۱۷۹). در واقع به خاطر تلاطم جو زمین موقع گذشتن نور ستاره‌ها نور آنها می‌تواند تا چند ثانیه منحرف شود و این یعنی اثری برابر با محاسبات خمش نور در میدان گرانشی (ویل، ۱۳۸۳، ص ۹۵). در واقع از شانزده عکسی که ادینگتون گرفت، تنها به دو عکس اعتماد کرد که در مجموع، پنج ستاره را نشان می‌داد. او عکس آنها را با عکس‌هایی که قبل از کسوف گرفته شده بود مقایسه

نمود و اعلام کرد که "نسبیت عام تأیید شد". هیئت اعزامی به برزیل نیز هشت عکس قابل استفاده گرفت که هرکدام دست کم هفت ستاره را نشان می‌دادند (همان، ص ۹۷). البته ادینگتون به راحتی ۱۸ عکس دیگر را که با تلسکوپ دیگری در برزیل گرفته شده بود و نتایج نسبیت عام را تأیید نمی‌کرد نادیده گرفت (زیباکلام، ۱۳۸۲، ص ۱۷۹). بعد از تأیید ادینگتون بود که جامعه علمی نظریه نسبیت را پذیرفت. علی‌رغم مصاحبه‌های بسیاری که مطبوعات با اینشتین درباره نظریه‌اش داشتند، این نظریه - گرچه پذیرفته شده بود - از طرف جامعه علمی جدی گرفته نشد؛ چراکه نگرش غالب تا حدود سال ۱۹۶۰ این بود که هرچند نسبیت عام بی‌شک به‌عنوان یک نظریه بنیادی طبیعت مهم است، اما محتوای مشاهدتی آن بسیار محدود بوده و درک آن دشوار و محاسبه با آن نیز ناممکن است (ویل، ۱۳۸۳، ص ۲۴-۲۵). به همین دلیل، این نظریه تا سال ۱۹۶۰ آزمون‌های کمی را از سر گذراند. اغلب این آزمون‌ها سنجش دوباره انحراف نور بود؛ چون مستندات تجربی ادینگتون برای تأیید نظریه نسبیت کم بود. این آزمایش در سال‌های ۱۹۲۲، ۱۹۲۹، ۱۹۳۶، ۱۹۴۷، ۱۹۵۲، ۱۹۷۳ تکرار شد. اما نتایج آنها همخوانی قابل قبولی را با نسبیت عام نداشت (همان، ص ۹۸).

در بین سال‌های ۲۷ تا ۶۰ بارها آزمون انتقال به سرخ گرانشی انجام شد و نظریه نسبیت باز هم تأیید نشد. دانشمندان ترجیح دادند این شکست را توجیه کنند. البته در سال ۱۹۳۸، اثر دوپلر نسبیتی به محک آزمون گذاشت و تأیید شد (هادی‌پور، ۱۳۸۲، ص ۹۲). در سال ۱۹۶۰ و در پی کشف اختروش‌ها، تلاشی سخت انجام گرفت تا پیش‌بینی‌های نسبیت عام با محک آزمون سنجیده شود و پیش‌بینی‌های جدیدی صورت گیرد (ویل، ۱۳۸۳، ص ۱۱). علت این امر نیز تولد اخترفیزیک نسبیتی بود. اکنون مسئله این بود که در تحلیل داده‌های رصدی و شناخت کیهان تا چه حد می‌توان بر نسبیت عام تکیه کرد. گرچه اختروش‌ها، تپ اخترها و نظایرشان مستقیماً چیز زیادی درباره نسبیت عام به ما نمی‌گویند (به دلیل اینکه فیزیک پیچیده‌ای دارند و به‌سختی می‌توان آثار نسبیت عامی آن‌ها را از دیگر نیروهای درگیر جدا کرد) اما برای تحلیل روند شکل‌گیری و نوردهی‌شان، به نظریه نسبیت عان نیاز است. تلاش‌های بیست‌ساله‌ای که در پی تولد اخترفیزیک نسبیتی صورت گرفت، قدری نیز مرهون رقیبی چون نظریه برنز - دیکی بود که خمش فضا - زمان را به میزانی متفاوت با نسبیت پیش‌بینی می‌کرد.

نظریه برنز - دیکی رقیبی جذاب و کارآمد برای نسبیت بود. تا آن زمان، نفس بودن چنین نظریه‌ای که با تمام شواهد تجربی‌اش همخوانی خوبی داشت نشان میداد که نسبیت عام تنها نظریه گرانث نیست ... وقتی در اواسط دهه ۶۰ مشخص شد که نتیجه یک آزمایش با نسبیت نمی‌خواند، آزمون نظریه نسبیت را جدی‌تر گرفتند (همان، ص ۲۶) و این سرآغاز آزمون‌هایی شد که در ادامه، نمایی کلی از آنها ارائه می‌شود:

- در سال ۱۹۶۰ «ربکا - پوند» اثر دوپلر نسبیتی را آزمودند. این آزمون که با استفاده از تشدید موسبائر مشاهده شد، با خطای ۱۰ درصد نتایجش با نسبیت همخوانی داشت (هادی‌پور، ۱۳۸۲، ص ۹۵-۹۴).

- در سال ۱۹۶۹، امواج رادیویی گسیل‌شده توسط اختروش‌ها رصد شد و مشاهده شد که امواج رادیویی (که امواج الکترومغناطیسی با طول موج بلند هستند) نیز در اثر جاذبه گرانشی منحرف می‌شوند. این نتایج با خطایی ۱۰ الی ۱۵ درصدی، با نسبیت عام سازگارند. - از سال ۶۹ تا سال ۷۵ در چند شهر، هر ساله حداقل یک‌بار این رصدها تکرار شدند و تنها یک‌بار نتایج با نسبیت عام همخوانی نداشت (ویل، ۱۳۸۳، ص ۱۰۳).

- در دهه ۶۰ میلادی، آزمایش اتووش دوباره تکرار و تأیید شد و فیزیکدانان مطمئن شدند که علت اختلاف نتایج دیگر را نباید به پای تخت بودن فضا و زمان گذاشت (همان، ص ۴۸-۴۶).

- تلاش‌های بعدی روی آشکار ساختن انتقال به سرخ گرانشی خورشید و کوتوله‌های سفید متمرکز شد. اما این تلاش‌ها تا ۲۰ سال بعد ناموفق بود (همان، ص ۶۷)؛ گرچه آن را به پای نقص دانش فیزیک از سطح ستارگان گذاشتند.

- در سال ۶۶، دیکی با شیوه رصدی جدیدش پی برد که خورشید کره کامل نیست. این می‌توانست با اختلالی که ایجاد می‌کند، محاسبات مدار عطارد را تغییر دهد. در نتیجه یکی از موفقیت‌های مهم نظریه نسبیت مخدوش شد (همان، ص ۱۲۱).

- تأخیر زمانی نور آزمونی برای نسبیت عام بود که اینشتین پیشنهاد نداده بود. اما در زمان سر درگمی تأیید یا رد اولین شاهد بر صحت نسبیت عام (پیش‌افتادگی حضيض تیر) نقشی بی‌بدیل ایفا کرد (همان، ص ۱۲۹).^۱ این اثر در ۱۸ ژانویه ۱۹۶۷، ۱۱ مه ۱۹۶۷، ۲۴ اوت ۱۹۶۷

۱. مطابق با نسبیت عام، زمان رفت و برگشت علامت رادار بیش از نظریه نیوتنی با فرض ثابت بودن سرعت نور است. علامت راداری که در مقارنه زیرین از زمین به مریخ فرستاده می‌شود، تأخیری برابر ۲۵۰ میلیونیم ثانیه خواهد داشت. کل این رفت و برگشت، ۴۲ دقیقه طول می‌کشد (ویل، ۱۳۸۳، ص ۱۳۳).

سنجیده شد که نتیجه‌ها با دقت ۲۰ درصد با نسبت عام همخوانی داشتند (همان، ص ۱۵۷).
 - در دهه هفتاد بارها انتقال به سرخ گرانشی و اتساع زمان را به کمک ساعت‌های سزیمی که در هواپیماهایی به دور زمین می‌چرخیدند آزمودند و هر بار نتایج همخوانی بیشتری با نسبت داشت (همان، ص ۷۲-۷۳).

- همچنین در دهه هفتاد، انتقال به سرخ گرانشی را با استفاده از ساعت اتمی میزر هیدروژن در پرتاب موشک آزمودند و باز هم نتایج تأییدی بر نسبت عام بود (همان، ص ۷۶-۸۰).

- در سال ۷۹ کشف اختروش دوتایی و بعد از آن عدسی گرانشی و خمش نور توسط آن تأییدی دیگر و متفاوت بر نسبت عام بود (همان، ص ۱۰۷-۱۰۸).

- تا دهه هشتاد، دفعات متعدد و به چند روش پخیدگی خورشید بررسی شد. اما توافق عامی درباره آن صورت نگرفت (همان، ص ۲۴) و جدی‌ترین مؤید نظریه نسبیت همچنان در هاله‌ای از ابهام باقی ماند.

- در سال ۱۹۷۸ آزمون تأخیر زمانی مجدداً انجام گرفت که نتایج در توافق کامل با نسبیت، با دقت یک‌دهم درصد بودند (همان، ص ۱۵۷).

- اخیراً نیز خولمتسکی (A L Kholmetskii, T Yarman and O V Missevitch, 2008) و دیگران نشان داده‌اند که کوندیگ در آنالیز داده‌ها اشتباه کرده است و داده‌ها و نتایج واقعی، انحراف بیست درصدی از نظریه نسبیت خاص اینشتین را نشان می‌دهند؛ گرچه هنوز هم فیزیکدانان به دلایل متعددی با این سؤال دست به گریبان هستند که آیا شتاب سقوط اجسام برای جرم‌های بزرگ هم مانند اشیاء کوچک یکسان است؟ یعنی با آنچه که ایده‌محوری نظریه نسبیت عام را شکل می‌دهد (Carson, 2019).

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی رابطه نظریه و مشاهده در سیر تدوین و پذیرش نظریه نسبیت پرداخته شده است. این سیر بیش از هر چیز نشان می‌دهد که رابطه نظریه با مشاهده، یک رابطه خطی و مستقیم نیست.

دیدیم که در فرآیند تدوین نظریه نسبیت دغدغه وحدت بخشی به نظریه‌ها و سادگی نقش اساسی را بازی کرد؛ همان‌طور که هرمان بوندی می‌گوید: «نظریه نسبیت خاص یک نتیجه ضروری و اجتناب‌ناپذیر اساسی بودن وحدت فیزیک است؛ زیرا قابل تحمل نیست

که تمام دستگاه‌های لخت از نظر دینامیکی هم‌ارز باشند، ولی از نظر اندازه‌گیری‌های نوری متمایز از یکدیگر باشند» (رزنیک، ۱۳۸۱، ص ۳۸).

البته تکیه بر این نگرش که در حوزه مفاهیم نظری نیز تنها باید بر مفاهیم برآمده از تجربه تکیه کرد نیز نقشی به‌سزایی داشت.

گرچه تدوین نظریه نسبیت مدیون دغدغه‌های اینشتین و نوع رویکرد علمی او بود. اما در جریان شکل‌دهی نظریه مشاهدات معتبر و حتی چگونگی مشاهده تأثیر گذاشت. در واقع اینشتین بدون استفاده از نظریات و تجربیات علمی قبلی، هرگز با پرسشی که نظریه نسبیت را در جواب آن طراحی کند، مواجهه نمی‌شد.

نتیجه دیگر بحث اینکه ما در فرآیند پذیرش نظریه نسبیت از طرف جامعه علمی، شاهد چند رویداد مهم هستیم:

از زمان ارائه نسبیت در سال ۱۹۰۶ تا پذیرش آن در سال ۱۹۱۸ بیش از ۱۰ سال طول کشید. این تأخیر در آزمون این نظریه، نشان از سردرگمی جامعه علمی در آن زمان دارد؛ خصوصاً زمانی که نظریات رقیبی نیز (چه قبل و چه بعد از آن) ارائه شدند.

درواقع وقتی برخی از پیش‌بینی‌های یک نظریه غلط از آب درآید، همه می‌دانند که این نظریه به‌نحوی باید تغییر کند. اما اینکه کدام گزاره را باید حفظ کنیم و در کدام‌یک از تجدید نظرها آزادی عمل زیادی وجود دارد، قطعاً این انتخاب دیگر تابع تجربه نیست؛ بلکه تابع پیش‌فرض‌های فلسفی شرایط اجتماعی و ... است. آزمون نظریات نیز تابع شرایط اجتماعی و همچنین میزان دسترسی محققین به امکانات اقتصادی و غیر اقتصادی موردنیاز برای آزمون است؛ گرچه تمایل همیشه در انتخاب تجدیدنظرهایی است که در نظام فعلی، کمترین تغییر و اختلال را ایجاد کنند.

در این سیر دیدیم که برای اولین بار مسائلی چون محاسبه‌پذیری و نیاز جامعه علمی در تحلیل داده‌ها و دیگر نظریاتش به یک نظریه خاص (نظریه نسبیت)، نقشی اساسی در جدی گرفتن و پرداختن فیزیکدانان مختلف به این نظریه ایفا کرد.

این نیاز باعث انجام آزمون‌های جدی شد؛ همان‌طور که نظریه برنز - دیکس، به‌عنوان رقیبی برای نسبیت عام - که همان نتایج را تا آن زمان به‌دست می‌داد - باعث شد که دانشمندان به سمت طراحی آزمون‌های جدید و دقیق بروند و سعی کنند آزمون‌های فیصله‌بخشی را ارائه دهند؛ گرچه یکی از علت‌های تلاش برای طراحی و اجرای چنین آزمون‌هایی، ناشی از این

بود که برخی فیزیکدانان به دلایل نظری و زیباشناختی، نظریه جدید را ترجیح می‌دادند. در واقع علت جدی گرفته شدن این نظریه از میان چندین نظریه رقیب که قبل و بعد از نسبیت عام برای آن نوشته شد، این بود که این نظریه ویژگی‌های متعددی داشت که در نسبیت عام بود و نظریه پردازان آنها را اساسی می‌دانستند و ویژگی‌هایی را به آن می‌افزود که نسبیت عام نداشت (ویل، ۱۳۸۳، ص ۲۶). به عبارت دیگر مجموعه‌ای از پیش‌فرض‌های فلسفی فیزیکدانان، آنها را به این سمت سوق داد و رقابت این نظریه‌ها را مبدل به پرسش جامعه علمی کرد. نکته مهم دیگر آن است که تعداد آزمون‌های نسبیت عام از نظر نوع آزمون، انگشت‌شمار و از نظر تکرار، یک آزمون حتی کمتر از ۱۰۰ بار بود که در این میان، ما شاهد برخی آزمایش‌های ابطال‌کننده این نظریه نیز بودیم و دیدیم که جامعه علمی فیزیک ترجیح داد آن آزمون‌ها را معتبر بشمارد؛ همان‌طور که ادینگتون ترجیح داده بود بیشتر عکس‌های گرفته‌شده از کسوف خورشید را کنار بگذارد. همچنین شاهد بودیم که یک آزمون تحلیل‌های متفاوتی داشت و می‌توانست با یک تحلیل مؤید و با تحلیل دیگری، ابطال‌کننده نسبیت عام باشد. علت این امر این است که ما نمی‌توانیم یک نظریه را به‌تنهایی به محک آزمون بگذاریم.

ما دیدیم که نظریات فیزیکی از طریق مقایسه بلاواسطه و با تجربه قابل تأیید و ابطال نیستند. آنها را فقط از طریق فهم خود - که مبتنی بر نظریات دیگر است - می‌توان با جهان خارج مقایسه کرد؛ یعنی از طریق گامی که مملو از نظریه و استنتاج است. در واقع گزاره‌ها از راه بسیار پر پیچ‌وخمی با تجربه ارتباط پیدا می‌کنند و این باعث می‌شود که نقش عوامل محیطی (پیش‌فرض‌های فلسفی، زمینه‌های اجتماعی و اقتصادی، اعتبار و امکانات در دسترس طرفداران یک نظریه در جامعه علمی) افزایش یابد. اما با این‌همه، اینها تنها عوامل مؤثر نیستند و اختلافات بر سر نقش تجربه و آزمون در نظریه‌پردازی و تأیید و پذیرش نظریات از طرف جامعه علمی بیش از هر چیز ناشی از دیدن بخشی از فرآیند و غفلت از بخش اعظم آن بوده است. در واقع در فرآیند تدوین و پذیرش نظریه نسبیت می‌توان شاهدی بر تمام نظریات مطرح‌شده یافت. البته اگر تنها روی قسمت مورد نظرمان متمرکز شویم، این خود بیش از هر چیز شاهدی بر ضرورت همه‌جانبه‌گرایی و نیاز به فهم این است که ما نه‌تنها با یک رابطه خطی ساده، بلکه با کلافی پیچیده و با نظم خاص خود در روند تولید علم مواجه هستیم.

کتابنامه

۱. اعتماد، شاپور (۱۳۷۵). دیدگاه‌ها و برهان‌ها. تهران: نشر مرکز.
۲. اینشتین، آلبرت (۱۳۷۸). نسبیت نظریه خصوصی و عمومی و مفهوم نسبیت. ترجمه محمدرضا خواجه‌پور. چاپ دوم. تهران: انتشارات خوارزمی.
۳. باربور، ایان (۱۳۹۲). دین و علم. ترجمه پیروز فطورچی، قم: پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی.
۴. چالمرز، آلن فرانسیس (۱۳۸۹). چیستی علم در آمدی بر مکاتب علم‌شناسی فلسفی. ترجمه سعید زیباکلام، چاپ دهم. تهران: سمت.
۵. راسل، رابرت (۱۳۸۶). فیزیک، فلسفه و الاهیات. ترجمه همایون همتی. قم: پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی.
۶. رزیک، رابرت (۱۳۸۱). آشنایی با نسبیت خاص. ترجمه جعفر گودرزی. چاپ چهارم. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
۷. زیباکلام، سعید (۱۳۸۲) «از چیستی علم به سوی چگونگی علم»: روش‌شناسی علوم انسانی. ۱۰، (۳۴).
۸. فایرابند، پل (۱۳۷۵). بر ضد روش طرح نظریه آنارشیستی معرفت. ترجمه مهدی قوام صفری. تهران: فکر روز.
۹. کاپالدی، نیکلاس (۱۳۷۷). فلسفه علم. ترجمه علی حقی. تهران: سروش.
۱۰. ویل، کلیفورد ام (۱۳۸۳). آزمون نسبیت عام، «آیا اینشتن درست می‌گفت؟». ترجمه احمد شریعتی. تهران: سازمان چاپ و انتشارات.
۱۱. هادی‌پور، هادی (۱۳۸۲). نسبیت خاص. شیراز: انتشارات دانشگاه شیراز.
12. A L Kholmetskii, T Yarman and O V Missevitch (2008). "Kündig's experiment on the transverse Doppler shift re-analyzed". *Physica Scripta*.
13. Carson, Zack, Brian C. Seymour, and Kent Yagi (2019). "Universal Interferometric Signatures of a Black Hole's Photon Ring". originally announced July 2019.
14. Cropper, William H. (2001). *Great Physicists: The Life and Times of Leading Physicists from Galileo to Hawking*, Oxford University Press.
15. Cushing, James T. (1998). *Philosophical Concepts in Physics-the Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories*, Cambridge University Press.
16. Kundigi, Walter (1893). "Measurement of the Transverse Doppler Effect in an Accelerated System". *The Physical Review*.