از اعماق

نسبیت عام اینشتین، کلیدی برای فهم بهتر جهان

معمای هندسی گرانش

عرفان کسرایی

فیزیک، بی‌کم‌وکاست بنیادی‌ترین دانش بشری است. دانشی که جهان هستی و عملکرد طبیعت را تشریح می‌کند و قادر است از حرکت یک سیاره گرفته تا سوختن یک شمع را توضیح دهد. در شاخه‌های مختلف فیزیک امروز یک چیز اما مشترک است؛ معادلات ریاضی! فیزیک اغلب با زبان ریاضی به ما می‌گوید که جهان چگونه کار می‌کند. این معادلات به‌عبارتی، کلید فهم جهان هستند. از بین قوانین و نظریات و معادلات فیزیک، هیچ معادله‌ای در تاریخ علم به اندازه $E = mc^2$ شهرت جهانی پیدا نکرده است. «آلبرت اینشتین» نزد عموم مردم دنیا به‌عنوان نماد هوش بشری و یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان سراسر تاریخ شناخته شده است. وی سیم‌ها برزخی در توسعه شاخه‌های مختلف فیزیک داشته و نظریات او به‌خصوص دو نظریه نسبت خاص و نسبیت عام، دیدگاه بنیادی ما نسبت به ساختار جهان را از اساس دگرگون کرده است.

«کارل پوپر»، فیلسوف علم می‌گوید: «نسبیت عام به اعتقاد من یکی از بزرگ‌ترین انقلاب‌های علمی است که تاکنون به وقوع پیوسته است؛ زیرا با بزرگ‌ترین و بهترین نظریه‌ای که تا آن زمان مورد تأیید تجربی قرار گرفته بود، یعنی نظریه نیوتن درباره جاذبه و منظومه شمسی درگیر شده».

نظریه نسبیت عام اینشتین، به‌لحاظ تاریخی در نوامبر سال ۱۹۱۵ و در قالب یک مجموعه سخنرانی در آکادمی علوم پروس در برلین مطرح شد. بااین‌وجود تا زمانی که نظریه جدید و انقلابی او موردپذیرش جامعه علمی قرار گیرد، سال‌های زیادی طول کشید. «هاینبرگ» در کتاب «جزء و کل» به دفعات از گفت‌وگوهای میان خود و فیزیک‌دانان نوشته است. او می‌نویسد: «لفگانگ پاولی در سال‌های حدود ۱۹۲۰ معتقد بود نظریه نسبیت عام هنوز نظریه‌ای است بحث‌برانگیز و چندان رضایت‌بخش نیست؛ زیرا برای هر آزمایشی باید صد صفحه نظریه را که پر از پیچیده‌ترین فرمول‌های ریاضی است، خواند. هیچ‌کس نمی‌تواند بگوید که این نظریه سراپا درست است یا نه.

او می‌نویسد: در تابستان سال ۱۹۲۱ یک روز «ولفگانگ پاولی» از من پرسید: آیا نظریه نسبیت اینشتین را فهمیده‌ای؟ من در جواب گفتم که درست نمی‌دانم معنی «فهمیدن» در فیزیک چیست. جارچوب ریاضی نظریه نسبیت برای من اشکالی به وجود نمی‌آورد اما این اصلا به آن معنی نیست که فهمیده‌ام چرا زمان برای ناظر متحرک و ناظر ساکن متفاوت است. مسئله اصلا برای من روشن نیست و به‌نظرم می‌رسد که به‌کلی غیرقابل‌درک است.

«هاینبرگ» با اشاره به مخالفت‌های فراوانی که علیه «اینشتین» در آلمان وجود داشت، می‌افزاید: در تابستان سال ۱۹۲۲ به پیشنهاد استاد زومرفلد (که در آن زمان رئیس دانشکده فیزیک نظری دانشگاه مونیخ بود)، برای شرکت در کنگره فیزیک‌دانان آلمان در لایپزیگ شرکت کردم. قرار بود «اینشتین» در آن کنفرانس درباره «انقلاب نسبیت» سخنرانی کند. در بدو ورود به سالن کنفرانس، جوانی که دستیار یکی از استادان معروف فیزیک در یکی از دانشگاه‌های جنوب آلمان بود، اطلاعیه‌ای به من داد که ما از «اینشتین» و نسبیت بر حذر می‌داشت و می‌گفت سرایای این نظریه جز مشتی تخیلات لجام‌گسیخته نیست. این فیزیک‌دان مشهور برای رد نظریه نسبیت، ابزار بد و بی‌پایه‌ای را به‌کار گرفته بود که فقط می‌توانست به بد چیز دلالت کند؛ او از اینکه بتواند نظریه نسبیت را با استدلال علمی رد کند، به کلی مأیوس شد.

خود «اینشتین» آن‌گونه که «کارل پوپر»، فیلسوف علم می‌گوید در سال ۱۹۲۲ نظریه‌اش را صرفا یک مرحله گذرا می‌دانست و به «لوواد اینفلد» گفته بود: «سخت عجب معادله میدانش (تانسور انحنا) به صلابت یک صخره است، حال آنکه سخت‌ترین است معادله‌اش (تانسور انرژی- مومنتوم) در سستی به یک کاه شبیه است.

همان‌طور که گفتیم، زمانی که صحبت از نسبیت می‌کنیم، مقصود دو نظریه نسبیت خاص است و نسبیت عام. نسبیت خاص که ۱۰ سال پیش از نظریه نسبیت عام مطرح شده بود، سینماتیک نیوتنی را کنار می‌گذاشت و به جای تبدیلات گالیله، تبدیلات لورنتس را قرار می‌داد. اما در نسبیت عام که در دکلیت خود یک طرح هندسی بود، مسئله بر سر این است که در آن، دیگر فرانسان مطلق وجود ندارد و نشان می‌دهد یک دوم سالم‌ر، اگر بر اساس منطق و عقلانیت تفکر کند، می‌تواند نتایجی به دست آورد که از همه آزمایش‌های تجربی سرافراز بیرون آید.

کرانش نیوتنی

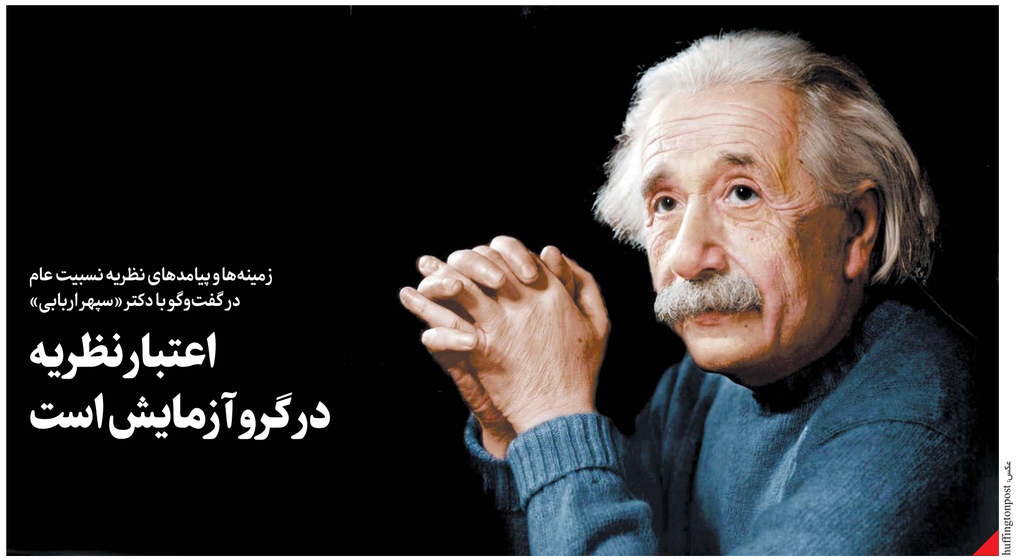
«ایسراک نیوتن»، با استفاده از توانایی‌های ریاضیات در توصیف پدیده‌های فیزیکی، قوانین حاکم بر پدیده‌های زمینی و آسمانی را یک‌سان دانست و نیروی گرانش را به عنوان صخته‌فرآن پنهان در آن قوانین جدیدی استفاده کند. نیروی گرانش بین دو جسم با حاصل ضرب جرم این اجسام متناسب است و با توان دوم فاصله آنها نسبت عکس دارد. هماهنگی میان این معادلات و مشاهدات تجربی، خیره‌کننده است. چنین موفقیتی، به نظریه نیوتن اعتبار کافی بخشید. اما در آغاز قرن بیستم، کشف نسبت خاص اینشتین مانعی در برابر تئوری گرانش نیوتن قرار داد.

ناسازگاری گرانش نیوتن و نسبیت خاص اینشتین

یکی از ویژگی‌های نسبیت خاص، تعیین سرعت نور به عنوان حدی برای سرعت اجسام است. چنین اصلی نه‌تنها در خصوص اجسام، بلکه درباره موج و به‌طور کلی درباره هر نوع تأثیری در جهان درست است. به عبارت دیگر، هیچ راهی برای انتقال اطلاعات یا تأثیرگذاری با سرعتی بیش از سرعت نور وجود ندارد. براساس تئوری کرانش نیوتن، نیروی گرانش تنها به جرم دو جسم و فاصله بین آنها وابسته است و هیچ ربطی به فاصله زمانی بین آنها ندارد. حال یک فاجعه کیهانی را در نظر بگیرید که در آن خورشید ناگهان منفجر شود و از هم بپاشد. طبق تئوری گرانش نیوتن، کره زمین که ۹۳ میلیون مایل (۱۵۰میلیون کیلومتر) از آن فاصله دارد، در همان لحظه از مدار خود فاصله گرفته و از انفجار خورشید تأثیر می‌پذیرد. به نیاز دیگر، تغییر جرم خورشید، به طور آنی روی نیروی گرانش وارد بر زمین تأثیر می‌گذارد. اما تقریبا هشت دقیقه طول می‌کشد تا نور خورشید به زمین برسد. بنابراین طبق نسبیت خاص، هشت دقیقه طول می‌کشد تا امواج الکترومغناطیسی (که با سرعت نور حرکت می‌کنند)، به زمین برسد. این یک تناقض آشکار است. «اینشتین» در اوایل قرن بیستم درباره نظریه نیوتنی او با تئوری گرانش نیوتن در تضاد است. بنابراین به جست‌وجوی نظریه‌ای سازگار با نسبیت خاص و گرانش نیوتنی پرداخت. این تلاش درنهایت به نظریه نسبیت عام منجر شد؛ نظریه‌ای که در آن، ماهیت زمان و مکان دوباره و به شکل بنیادی بازنگری شد.

اصل هم‌ارزی

اگر در یک اتاقک بدون پنجره مانند یک آسانسور قرار داشته باشید و با سرعتی ثابت حرکت کنید، هیچ راهی برای درک ویژگی‌های حرکتتان (مانند سرعت و جهت حرکت)، وجود ندارد. بدون درنظرگرفتن محیط بیرون به عنوان مرجعی برای مقایسه، حتی نمی‌توان به حرکت این اتاقک، سرعتی نسبت داد. از سوی دیگر، اگر حرکت شما شتاب‌دار باشد، حتی در یک اتاقک کاملا بسته، قادرید نیروی ناشی از حرکت شتاب‌دار اتاقک را حس کنید. اگر این اتاقک، شروع به حرکت شتاب‌دار به سمت بالا کند، شما نیروی را کف پاهای خود احساس خواهید کرد. «اینشتین» دریافت که در این اتاقک فرضی، نمی‌توان نیروهای ناشی از حرکت شتاب‌دار را از نیروی گرانش جرمی در حالتی که شتابی وجود ندارد، تشخیص داد. مادامی که اندازه این نیروها با یکدیگر برابر باشد، احساس ما در دریافت هریک از این نیروها کاملا مشابه احساس ما در حضور نیروی دیگر خواهد بود. اگر شما وزن زمین در این اتاقک قرار گرفته باشید، پاهایتان همان احساسی را نسبت به کف اتاقک خواهد داشت که در یک حرکت شتاب‌دار به سمت بالا در فضای بدون گرانش حس می‌کنید. به عبارت دیگر، تفاوتی میان حرکت شتاب‌دار



زمینه‌ها و پیامدهای نظریه نسبیت عام
در گفت‌وگو با دکتر «سپهر اربابی»

اعتبار نظریه در گرو آزمایش است

گروه علم: بیش از صد سال از زلزله بزرگ در دنیای فیزیک می‌گذرد. سال ۱۹۰۵ در سالنامه فیزیک جند مقاله منتشر شد که یکی از یکی دیگر مهمتر و تأثیرگذارتر بودند. جالب اما این بود که نویسنده این مقاله‌ها نه استاد برجسته یکی از دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌های مهم و معتبر که جوانی کمنام بود؛ جوانی که چهره‌اش بعدها با آن چشم و ابرو و به‌ویژه موهای آشفته، به نماد هوش و ذکاوت بشر تبدیل شد. کسی که ما امروز او را به‌عنوان بزرگ‌ترین دانشمند تمام اعصار و دوران‌ها می‌شناسیم، فرد موفق و محترمی نبود. او نتوانست کاری درخور شان خود بیابد و هیچ دانشگاهی او را به همکاری دعوت نکرد. درنهایت هم با پادرمیانی پدر و دوستانش، به‌عنوان کارمند دفتری شرکت ثبت اختراعات استخدام شد. اما این همه ماجرا نبود. نظریه نسبیت در آن زمان با مخالف‌های گسترده مواجه شد. نه کمان کنیم فقط افراد عادی و نه‌تندان برجسته مخالفش بودند. بلکه در بین مخالفان او، می‌شد چند برنده جایزه نوبل را هم دید. پس می‌دلیل نیست کمیته نوبل جایزه فیزیک را نه به دلیل آنچه ما کمان می‌کنیم (یعنی ارائه نظریه نسبیت)، بلکه به دلیل نظریه فوتالکتریک به او اهدا کرد. مدت‌ها گذشت تا «آلبرت اینشتین» به صفحه اول روزنامه‌ها راه یابد و نیتر روزنامه‌ها شود. نامه‌نگاری به رئیس جمهور آمریکا برای احساس خطر قریب‌الوقوع نازی‌ها در زمینه دستیابی به بمب اتم و فعالیت‌های صلح‌دوستانه او برای ممانعت از استفاده از سلاح‌های هسته‌ای، ازجمله موارد دیگری بود که باعث شد «اینشتین» به چهره‌ای خبرساز بدل شود. به مناسبت یکصدسالگی ارائه نظریه نسبیت عام، با دکتر «سپهر اربابی»، استاد فیزیک دانشگاه صنعتی قم، گفت‌وگو کردیم تا هم نظریه نسبیت را با بیانی ساده برایمان تشریح کند و هم توضیح دهد چرا با آنکه صد سال از ارائه این نظریه گذشته است، باز هم هر از چند گاهی اخباری در این زمینه در رسانه‌ها منتشر می‌شود.

برای شروع صحبت، خوب است خلاصه‌ای از نظریه نسبیت را بیان کنید.

نظریه نسبیت کـه در دو بخش نسبیت خاص و عام شـناخته می‌شود، نظریه‌ای است برای فضا و زمان. در زمان «نیوتن» فضا و زمان را مطلق می‌پنداشتند و گرانش به‌عنوان نیرویی شـناخته می‌شـد که مسـتقل از چارچوب فضا و زمان بین اجسام عمل می‌کند. با آمدن نسبیت، هم فضا و زمان جایگاه مطلق خود را از دست داد و هـم گرانش به صورت خاصیتی از فضا و زمان بیان شـد. مطرح‌کننده نسبیت هم «آلبرت اینشتین»، فیزیک‌دانی است که نامش برای همگان آشناسـت، حتی برای افرادی که با محتوای این نظریه آشـنایی ندارند. علت نام‌گذاری نظریه نسـبیت این بود که فضا و زمان وابسته به ناظر هستند.

کفتید نسـبیت را در دو بخش نسبیت خاص و عام می‌شناسند. معنی نسبیت خاص و عام چیست؟ این دو چه تفاوت‌هایی دارند؟

در نسـبیت خاص که ابتدا در سـال ۱۹۰۵ میلادی (۱۳۸۴ شمسـی) مطرح شـد، فضا و زمان که تـا آن موقع، مسـتقل از یکدیگر توصیف می‌شـدند، به صـورت یک دیـده واحد دیده شـدند. بـه این معنی که حرکت جسـم در فضا بین زمانی که سـاعت متصل به آن جسـم، می‌سـنجد و سـاعتی که ناظری که آن جسم را از بیرون مشـاهده می‌کند، تفـاوت ایجاد می‌کند. به‌این‌ترتیب زمـان اندازه‌گیری‌شـده یک ناظر در مقایسـه با ناظر دیگر، وابسـته است به اینکه این دو ناظر نسبت به یکدیگر در حال حرکت باشند یا خیر. این وابسـته‌شـدن زمان، حتی می‌تواند بر این موضوع اثر بگذارد که دو ناظر باشـده دو رویداد مختلف را که می‌توانیم الف و بـ نامیم، همزمان دریافـت کنند یا با ترتیب زمانـی متفاوت. ممکن اسـت از دید ناظر اولی ابتدا الف رخ دهد سپس ب و از دیـد ناظر دوم برعکـس و حتی می‌توان ب و از دیـد ناظر سـومی از نظر رخداد که رویدادهای الف و ب را هزمان ببیند. پس نسبیت خاص، حرکت اجسام را نسبت به یکدیگر در نظر می‌گیرد و تأثیر آن را بـر زمان‌هایی که از دیـد آنها، این رویدادها سیری می‌شـود، بررسـی می‌کند. اما در نسبیت خاص، هم سـرعت‌ها ثابت نداشـته می‌شود و هم اینکه گرانش نقشـی ندارد. یکی از مهم‌ترین تبعاتی که دیدگاه جدید نسبیت خاص در مقابـله با فیزیک کلاسـیک در پی دارد، هم‌ارز بودن ماده و انرژی است که در رابطه مشـهور «اینشتین» $E=mc2$ بیان می‌شود. در نسـبیت عام، گرانش نیـز به‌عنوان عاملی تاثیرگـذار بر فضا و زمان اضافه می‌شـود. در محیطی کـه ماده و انرژی وجود دارد، فضا و زمان تغییر می‌یابد و دچار خمیدگی می‌شود؛ موضوعی که گاهی با استفاده از تشـبیه گلوله‌های فلزی روی سطح لاسـتیکی کش‌دار توضیح داده می‌شـود. علت عمیق‌تر این پدیده را می‌توان «هم‌ارزی گرانش و شتاب دانست که به صورت رایج با یک آزمایش فکری توضیح داده می‌شود. فرض کنیم دو ناظر را در اتاقی دربسـته قـرار دهیم و یکی از آنها را با شـتاب به حرکت درآوریـم و دیگری را در میدان گرانشـی قرار دهیم، هرکونه آزمایشـی که این دو ناظر انجام دهند، نتیجه یکسـانی خواهد داشـت. بنابراین این دو ناظر نمی‌توانند تشخیص دهند در کدام یک از موقعیت‌های فوق قرار دارند.

جرا زمانی که این نظریه ارائه شد، بسیاری از دانشمندان از این نظریه استقبال نکردند؟

در فیزیک، آزمایش را تمدید و گسترش تجربه به وسیله حواس طبیعی خود می‌دانیم. اگر منظورای زیبا را از دوربا دوربین دوچشمی مشاهده کنیم، معمولا به آنچه می‌بینیم، شک نمی‌کنیم. ابزارهای اندازه‌گیری، حسگرهایی هستند که توانایی انسان را برای دریافت داده‌ها از طبیعت و آزمایش تقویت می‌کنند. در دنیای تجارب روزمره ما اتفاقاتی که در دنیای ذرات بسیار کوچیک یا مقیاس‌های بسیار بزرگ کیهانی می‌افتد، ناشناخته است. همین‌طور سرعت‌های بسیار بالا، نزدیک به سرعت نور که هنگام حرکت ذرات کوچک طبیعی است و در برخی اجرام آسمانی نیز مشاهده می‌شود. دور از دسترس ادراک حس بینایی و شـنوایی ماسـت. بنابراین طبیعی‌تر این است که به ابزارهای اندازه‌گیری، آشکارسازهای پیشـرفته، دوربین‌های بسیار دقیق و مانند آنها اعتماد داشـته باشیم که همواره با اسـتفاده از آخرین فناوری روز طراحی و سـاخته می‌شـوند. پیش‌بینی‌های نظریه‌های علمی به‌طور مرتب و با اسـتفاده از روش‌هـا و ابزارهای مختلـف در آزمایش‌های مختلف و به دسـت فیزیک‌دانانی که مسـتقل از یکدیگر کار می‌کنند، مـورد آزمایش قـرار می‌گیرند. همین‌طـور نتایجی کـه از آزمایش‌ها به دسـت می‌آید، بیش از گزارش‌شان، مورد بررسـی‌ها و آزمون‌های متعددی قرار می‌گیرند. هر جواب و نتیجه‌ای نیز مجددا با آزمایش‌های بیشتر، مورد بازبینی قرار می‌گیرد تا درنهایت تائید یا رد شود. همزمان با بررسی نتایج آزمایش، دقت و حساسیت دستگاه‌هایی که استفاده شده و آمار آن نیز گزارش می‌شـود تا بتوان با روش‌های ریاضی و محاسـبه احتمالات، میزان اعتماد به نتیجه به‌دسـت‌آمده را نیز برآورد کرد.

پیش‌بینی‌های آن در آزمایش اخیر هم‌ارزی گرانش و شتاب دقیق دارد. از سـوی دیگر تلاش برای ارائـه نظریه‌ای برای گرانش که مبتنی بر سـاختار زیر و درونی ماده باشد، تاکنون به نتیجه نرسیده و از این رو گرانش متفاوت از سـایر انرکش‌هایی است که بین ذرات ماده مشـاهده شده اسـت. از این رو مطالعه گرانش، که یکی از بنیادی‌ترین پدیده‌هـای فیزیک اسـت، اهمیت خاصی دارد. در چند دهه گذشـته آزمایش‌های فراوانی برای شـناخت بیشـتر گرانش انجام شده اسـت و این آزمایش‌ها سال‌های طولانی نیز ادامه خواهد داشت.

بسـیاری از بخش‌های نظریه نسبیت (و تا حدود بیشتری نظریه کوانتوم) با عقل سـلیم (با دسـت‌کم تجربه ما از دنیای اطراف) متفاوت است. ملی باید به تجربه اهمیت دهیم و کی باید به تجربه شخصی یا احساس خود بی‌اعتنا باشیم و ادعاهای یک نظریه علمی را بپذیریم؟

در فیزیک، آزمایش را تمدید و گسـترش تجربه به وسـیله حواس طبیعی خود می‌دانیم. اگر منظورای زیبا را از دو با دوربین دوچشـمی مشـاهده کنیم، معمولا بـه آنچه می‌بینیم، شـک نمی‌کنیم. ابزارهای اندازه‌گیری، حسـگرهایی هسـتند که توانایی انسـان را برای دریافت داده‌ها از طبیعـت و آزمایش تقویت می‌کنند. در دنیای تجارب روزمره ما اتفاقاتی که در دنیای ذرات بسـیار کوچیک یا مقیاس‌های بسـیار بزرگ کیهانی می‌افتد، ناشناخته اسـت. همین‌طور سـرعت‌های بسـیار بالا، نزدیک به سرعت نور که هنگام حرکت ذرات کوچک طبیعی است و در برخی اجرام آسمانی نیز مشاهده می‌شود. دور از دسترس ادراک حس بینایی و شـنوایی ماسـت. بنابراین طبیعی‌تر این است که به ابزارهای اندازه‌گیری، آشکارسـازهای پیشـرفته، دوربین‌های بسـیار دقیق و مانند آنها اعتماد داشـته باشیم که همواره با اسـتفاده از آخرین فناوری روز طراحی و سـاخته می‌شـوند. پیش‌بینی‌های نظریه‌های علمی به‌طور مرتب و با اسـتفاده از روش‌هـا و ابزارهای مختلـف در آزمایش‌های مختلف و به دسـت فیزیک‌دانانی که مسـتقل از یکدیگر کار می‌کنند، مـورد آزمایش قـرار می‌گیرند. همین‌طـور نتایجی کـه از آزمایش‌ها به دسـت می‌آید، بیش از گزارش‌شان، مورد بررسـی‌ها و آزمون‌های متعددی قرار می‌گیرند. هر جواب و نتیجه‌ای نیز مجددا با آزمایش‌های بیشتر، مورد بازبینی قرار می‌گیرد تا درنهایت تائید یا رد شود. همزمان با بررسی نتایج آزمایش، دقت و حساسیت دستگاه‌هایی که استفاده شده و آمار آن نیز گزارش می‌شـود تا بتوان با روش‌های ریاضی و محاسـبه احتمالات، میزان اعتماد به نتیجه به‌دسـت‌آمده را نیز برآورد کرد.**

کمتر از دو سال بعد، به هیات «مکانیک کوانتومی» واحد، در هم تنیده شدند.

تحولات حسـاب‌شـده این شـاخه کاملا نوپای فیزیک، حکایت از این داشته و دارند که تصمیمات سخت فلسفی، دیگر مانند مورد نسبیت خاص، راهگاری موقت برای گذار به یک تصویر «دقیق‌تر» از واقعیـت فیزیکی نیسـتند، بلکه خـود در صورت‌بندی معنای واقعیت، ایفـای نقش می‌کنند. دل‌کندن از یک جهان کلاسـیک هنگامی آسـان می‌شـود که بـه تصمیمات فلسـفی نیز همان بهای تحقیقات علمی داده و بدیهی‌ها و بدیهه‌ها را به‌عنوان بهـا نیز از دامن «کانت» پیشرفت‌های چشـمگیری را پشت سر می‌گذاشـته است. ای کاش «اینشـتین» هم در مواجهه خود بـا مکانیک کوانتومی، این گام واپسین را برداشـته باشد. «چه‌بسا در این‌صورت امروز صد سال پس از طرح تئوری نسبیت عام، دست‌کم یک گام به تحقق آشتی بین این تئوری زیبا و مکانیک کوانتومی، نزدیک‌تر می‌بودیم».

نسبیت عام مطرح شده است که رد یا تأیید آن نیاز به اندازه‌گیری‌های دقیق دارد. از سـوی دیگر تلاش برای ارائـه نظریه‌ای برای گرانش که مبتنی بر سـاختار زیر و درونی ماده باشد، تاکنون به نتیجه نرسیده و از این رو گرانش متفاوت از سـایر انرکش‌هایی است که بین ذرات ماده مشـاهده شده اسـت. از این رو مطالعه گرانش، که یکی از بنیادی‌ترین پدیده‌هـای فیزیک اسـت، اهمیت خاصی دارد. در چند دهه گذشـته آزمایش‌های فراوانی برای شـناخت بیشـتر گرانش انجام شده اسـت و این آزمایش‌ها سال‌های طولانی نیز ادامه خواهد داشت.

جرا زمانی که این نظریه ارائه شد، بسیاری از دانشمندان از این نظریه استقبال نکردند؟

وابسـته‌شـدن فضا و زمان بـه یکدیگـر و ازبین‌رفتن حق مطلق فضا و زمان که چند سده، اصلی ثابت پنداشته می‌شـد، باعث مقاومت می‌شـد. اما رفته‌رفته «اینشـتین» جایگاه خود را در میان فیزیک‌دانان بنـام عصر خـود یافـت. او توانسـت با نظریه نسـبیت خـود، پدیده‌هایـی را توضیـح دهد کـه تا آن هنگام بی‌پاسـخ مانـده بودند، مانند گـردش حضیض مدار سـیاره تیـر. و علاوه بر آن پدیده‌هایـی را پیش‌بینی کنـد که تا آن‌زمان از وجـود آن صحبتـی در میـان نبـود، مانند جابه‌جایی مسـیر نور سـتاره‌ها هنگام عبور از در آلمـان و قدرت‌گرفتن نظـام نازی‌ها (که به شـدت ضدیهود بود)، مخالفت با «اینشـتین» رواج یافت، اما با نابودشـدن آن نظام در جنگ جهانی دوم، این مخالفت نیز به تاریخ پیوست.

پس جرا هنوز هم دانشـمندان هرچند وقت یک بار می‌کویند آزمایش کنیم تا درسـتی این نظریه را بسنجیم؟ مگر در این صد سال مشخص نشده که این نظریه درست است یا نه؟

اعتبـار هـر نظریـه فیزیکی بـه تأییـد یا رد پیش‌بینی‌هـای آن در آزمایـش اسـت. هنـوز برخـی از جوانـب و پیش‌بینی‌هـای نسـبیت عام تأیید نشـده اسـت. از مشـهورترین این پیش‌بینی‌ها امواج گرانشـی آن نیروی مرموزی نسـبت که غیرمسـتقیم در اتلاف انرژی در دسـتگاه‌های دوتایی نیـاخترها دیده شـده اسـت. علاوه بر این، نظریه‌های بسـیاری در تعمیم و گسـترش نسبیت خاص اینشتین» فیزیک‌دانی است که نامش برای همگان آشناسـت، حتی برای افرادی که با محتوای این نظریه آشـنایی ندارند. علت نام‌گذاری نظریه نسـبیت این بود که فضا و زمان وابسته به ناظر هستند.

کفتید نسـبیت را در دو بخش نسبیت خاص و عام می‌شناسند. معنی نسبیت خاص و عام چیست؟ این دو چه تفاوت‌هایی دارند؟

در نسـبیت خاص که ابتدا در سـال ۱۹۰۵ میلادی (۱۳۸۴ شمسـی) مطرح شـد، فضا و زمان که تـا آن موقع، مسـتقل از یکدیگر توصیف می‌شـدند، به صـورت یک دیـده واحد دیده شـدند. بـه این معنی که حرکت جسـم در فضا بین زمانی که سـاعت متصل به آن جسـم، می‌سـنجد و سـاعتی که ناظری که آن جسم را از بیرون مشـاهده می‌کند، تفـاوت ایجاد می‌کند. به‌این‌ترتیب زمـان اندازه‌گیری‌شـده یک ناظر در مقایسـه با ناظر دیگر، وابسـته است به اینکه این دو ناظر نسبت به یکدیگر در حال حرکت باشند یا خیر. این وابسـته‌شـدن زمان، حتی می‌تواند بر این موضوع اثر بگذارد که دو ناظر باشـده دو رویداد مختلف را که می‌توانیم الف و بـ نامیم، همزمان دریافـت کنند یا با ترتیب زمانـی متفاوت. ممکن اسـت از دید ناظر اولی ابتدا الف رخ دهد سپس ب و از دیـد ناظر دوم برعکـس و حتی می‌توان ب و از دیـد ناظر سـومی را در نظر گرفت که رویدادهای الف و ب را هزمان ببیند. پس نسبیت خاص، حرکت اجسام را نسبت به یکدیگر در نظر می‌گیرد و تأثیر آن را بـر زمان‌هایی که از دیـد آنها، این رویدادها سیری می‌شـود، بررسـی می‌کند. اما در نسبیت خاص، هم سـرعت‌ها ثابت نداشـته می‌شود و هم اینکه گرانش نقشـی ندارد. یکی از مهم‌ترین تبعاتی که دیدگاه جدید نسبیت خاص در مقابـله با فیزیک کلاسـیک در پی دارد، هم‌ارز بودن ماده و انرژی است که در رابطه مشـهور «اینشتین» $E=mc2$ بیان می‌شود. در نسـبیت عام، گرانش نیـز به‌عنوان عاملی تاثیرگـذار بر فضا و زمان اضافه می‌شـود. در محیطی کـه ماده و انرژی وجود دارد، فضا و زمان تغییر می‌یابد و دچار خمیدگی می‌شود؛ موضوعی که گاهی با استفاده از تشـبیه گلوله‌های فلزی روی سطح لاسـتیکی کش‌دار توضیح داده می‌شـود. علت عمیق‌تر این پدیده را می‌توان «هم‌ارزی گرانش و شتاب دانست که به صورت رایج با یک آزمایش فکری توضیح داده می‌شود. فرض کنیم دو ناظر را در اتاقی دربسـته قـرار دهیم و یکی از آنها را با شـتاب به حرکت درآوریـم و دیگری را در میدان گرانشـی قرار دهیم، هرکونه آزمایشـی که این دو ناظر انجام دهند، نتیجه یکسـانی خواهد داشـت. بنابراین این دو ناظر نمی‌توانند تشخیص دهند در کدام یک از موقعیت‌های فوق قرار دارند.

جرا زمانی که این نظریه ارائه شد، بسیاری از دانشمندان از این نظریه استقبال نکردند؟

وابسـته‌شـدن فضا و زمان بـه یکدیگـر و ازبین‌رفتن حق مطلق فضا و زمان که چند سده، اصلی ثابت پنداشته می‌شـد، باعث مقاومت می‌شـد. اما رفته‌رفته «اینشـتین» جایگاه خود را در میان فیزیک‌دانان بنـام عصر خـود یافـت. او توانسـت با نظریه نسـبیت خـود، پدیده‌هایـی را توضیـح دهد کـه تا آن هنگام بی‌پاسـخ مانـده بودند، مانند گـردش حضیض مدار سـیاره تیـر. و علاوه بر آن پدیده‌هایـی را پیش‌بینی کنـد که تا آن‌زمان از وجـود آن صحبتـی در میـان نبـود، مانند جابه‌جایی مسـیر نور سـتاره‌ها هنگام عبور از در آلمـان و قدرت‌گرفتن نظـام نازی‌ها (که به شـدت ضدیهود بود)، مخالفت با «اینشـتین» رواج یافت، اما با نابودشـدن آن نظام در جنگ جهانی دوم، این مخالفت نیز به تاریخ پیوست.

پس جرا هنوز هم دانشـمندان هرچند وقت یک بار می‌کویند آزمایش کنیم تا درسـتی این نظریه را بسنجیم؟ مگر در این صد سال مشخص نشده که این نظریه درست است یا نه؟

اعتبـار هـر نظریـه فیزیکی بـه تأییـد یا رد پیش‌بینی‌هـای آن در آزمایـش اسـت. هنـوز برخـی از جوانـب و پیش‌بینی‌هـای نسـبیت عام تأیید نشـده اسـت. از مشـهورترین این پیش‌بینی‌ها امواج گرانشـی هسـتند که تاکنون فقط اثر آن به صورت غیرمسـتقیم در اتلاف انرژی در دسـتگاه‌های دوتایی نیـاخترها دیده شـده اسـت. علاوه بر این، نظریه‌های بسـیاری در تعمیم و گسـترش

نسبیت عام مطرح شده است که رد یا تأیید آن نیاز به اندازه‌گیری‌های دقیق دارد. از سـوی دیگر تلاش برای ارائـه نظریه‌ای برای گرانش که مبتنی بر سـاختار زیر و درونی ماده باشد، تاکنون به نتیجه نرسیده و از این رو گرانش متفاوت از سـایر انرکش‌هایی است که بین ذرات ماده مشـاهده شده اسـت. از این رو مطالعه گرانش، که یکی از بنیادی‌ترین پدیده‌هـای فیزیک اسـت، اهمیت خاصی دارد. در چند دهه گذشـته آزمایش‌های فراوانی برای شـناخت بیشـتر گرانش انجام شده اسـت و این آزمایش‌ها سال‌های طولانی نیز ادامه خواهد داشت.

بسـیاری از بخش‌های نظریه نسبیت (و تا حدود بیشتری نظریه کوانتوم) با عقل سـلیم (با دسـت‌کم تجربه ما از دنیای اطراف) متفاوت است. ملی باید به تجربه اهمیت دهیم و کی باید به تجربه شخصی یا احساس خود بی‌اعتنا باشیم و ادعاهای یک نظریه علمی را بپذیریم؟

در فیزیک، آزمایش را تمدید و گسـترش تجربه به وسـیله حواس طبیعی خود می‌دانیم. اگر منظورای زیبا را از دو با دوربین دوچشـمی مشـاهده کنیم، معمولا بـه آنچه می‌بینیم، شـک نمی‌کنیم. ابزارهای اندازه‌گیری، حسـگرهایی هسـتند که توانایی انسـان را برای دریافت داده‌ها از طبیعـت و آزمایش تقویت می‌کنند. در دنیای تجارب روزمره ما اتفاقاتی که در دنیای ذرات بسـیار کوچیک یا مقیاس‌های بسـیار بزرگ کیهانی می‌افتد، ناشناخته اسـت. همین‌طور سـرعت‌های بسـیار بالا، نزدیک به سرعت نور که هنگام حرکت ذرات کوچک طبیعی است و در برخی اجرام آسمانی نیز مشاهده می‌شود. دور از دسترس ادراک حس بینایی و شـنوایی ماسـت. بنابراین طبیعی‌تر این است که به ابزارهای اندازه‌گیری، آشکارسـازهای پیشـرفته، دوربین‌های بسـیار دقیق و مانند آنها اعتماد داشـته باشیم که همواره با اسـتفاده از آخرین فناوری روز طراحی و سـاخته می‌شـوند. پیش‌بینی‌های نظریه‌های علمی به‌طور مرتب و با اسـتفاده از روش‌هـا و ابزارهای مختلـف در آزمایش‌های مختلف و به دسـت فیزیک‌دانانی که مسـتقل از یکدیگر کار می‌کنند، مـورد آزمایش قـرار می‌گیرند. همین‌طـور نتایجی کـه از آزمایش‌ها به دسـت می‌آید، بیش از گزارش‌شان، مورد بررسـی‌ها و آزمون‌های متعددی قرار می‌گیرند. هر جواب و نتیجه‌ای نیز مجددا با آزمایش‌های بیشتر، مورد بازبینی قرار می‌گیرد تا درنهایت تائید یا رد شود. همزمان با بررسی نتایج آزمایش، دقت و حساسیت دستگاه‌هایی که استفاده شده و آمار آن نیز گزارش می‌شـود تا بتوان با روش‌های ریاضی و محاسـبه احتمالات، میزان اعتماد به نتیجه به‌دسـت‌آمده را نیز برآورد کرد.**

نگاه نو

۱۲ چیزی که خوب است درباره نسبیت بدانیم

مبانی فلسفی یک نظریه فیزیکی

ترجمه: محمدرضا دستورانی

نظریه‌های نسبیت «اینشتین» طرز تفکر مردم دنیا را درباره فضا، زمان، جرم، انرژی و گرانش تغییر داد.

۱ پیش از «اینشتین»، از قانون‌های «ایزاک نیوتن» برای درک فیزیک حرکت اسـتفاده می‌کردند. «نیوتن» در سـال ۱۶۸۷ نوشـت که گرانش بـر همه چیزها در کیهـان تاثیر می‌گذارد. بـه نظر وی، همان نیروی گرانشـی که باعث می‌شود سیب از درخت کنده شود و به زمین بیفتد، باعث حرکت مداوم زمین به دور خورشید می‌شود. البته «نیوتن» هیچ‌گاه نتوانست معمای منشأ نیروی گرانش را حل کند.

۲ کتاب «بحثی درباب ماهیت انسـان» اثر «دیوید هیوم»، فیلسـوف (که در سـال ۱۷۳۸ منتشر شد)، تأثیر زیادی در تفکرات «اینشتین» درباره فضا و زمان داشـت. «هیوم» تجربه‌گرا و شکاک بود. او بر این باور بـود که مفاهیم علمی باید متنی بر تجربه و شـواهد باشـند و نه صرفا اسـتدلال. او همچنین بر این باور بود که زمان، مستقل از حرکت اجسام وجود ندارد. «اینشتین» نوشت: «بسیار محتمل بود که بدون درنظرداشتن این بررسی‌های فلسفی، من به راه‌حل‌های خود نرسم».

۳ جرم و انـرژی نمادهای متفاوتـی از یک چیز هسـتند. رابطه معـروف «اینشـتین» ($E=mc^2$) یعنی «یک مقدار مشـخص