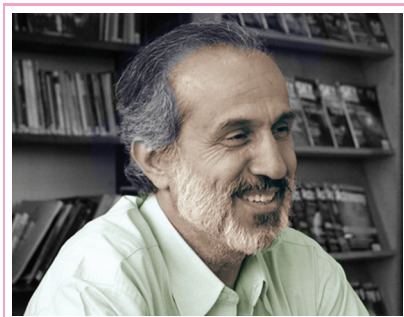


صد سال نسبیت عام



رضا منصوری*

... نمی‌دانم چه شده که حضرات به خیال تأسیس یک اونیورسیتیه در ایران افتاده‌اند و ممتازالسلطنه در این باب اصرار دارد. خلاصه بر حسب مقرر من ابتدا شرحی بیان کرده کیفیت معارف ایران را شرح دادم و همچنین میرزا حسین خان و مسیو پرینی مأموریت خودشان را در استخدام معلمین بیان کردند و گفتگو در این شد که آیا بهتر است که دولت فرانسه یک اونیورسیتیه به مساعدت دولت ایران در طهران تأسیس کند یا دولت ایران برای خود اونیورسیتیه تأسیس کند و فرانسه از حیث معلمین و اسباب و کتاب و غیره کمک به ایران نماید؟ ممتازالسلطنه شق اول را میل داشت. ما شق دوم را تقویت کردیم و همه با این رای موافق شدند و قرار شد میرزا حسین خان صورت مأموریت خود را برای مسیوکویل بفرستد و آنها در زمینه شق دوم پیشنهادی ترتیب دهند و داخل مذاکره شویم.

محمدعلی فروغی

یادداشت‌های روزانه

دوشنبه سوم فروردین ۱۲۹۸ / ۲۱ جمادی الاخر / ۲۴ مارس ۱۹۱۹، ص ۸۱

در مقابل متفکران اروپایی که انگاری سها بودند^۱ و رویت‌ناپذیر در مقابل خورشیدهای ما!

به این سؤال‌های ساده توجه کنید: ساعتی در تهران است و ساعتی دیگر در مشهد. از کجا بدانیم این ساعت‌ها همزمان‌اند؟ همین سؤال ساده، که انسان‌ها تا آن موقع بدیهی فرض می‌کردند، در سال ۱۲۸۴ ش/ ۱۹۰۵ م، در سال امضای مشروطه توسط مظفرالدین شاه قاجار، منجر به ابداع نسبیت خاص شد، انقلابی در علم و فکر بشر! ده سال بعد اینشتین نسبیت عام را ابداع کرد مبتنی بر نسبیت خاص و سؤال ساده‌ای دیگر: چرا شتاب با نیرو همراه است؟ آتشگردان و آب در سطل چرخان را همه انسان‌ها می‌دیدند و به آن نیروی گریز از مرکز می‌گفتند. اما چرا؟ این نیرو از کجا می‌آید؟ اگر از چرخش و شتاب است پس می‌توان سطل آب را ساکن نگاه داشت و آسمان را چرخاند، دست کم در ذهن خودمان. پس این نیرو باید ربطی داشته باشد با ماده در فاصله‌های دور. این را اول بار ماکس در دوران ناصرالدین شاه در وین مطرح کرده بود. توجه اینشتین به این سؤال جلب شده بود. همزمان مینکوفسکی توانسته بود نسبیت خاص را در قالب یک هندسه چهار بعدی

۱. نظر نویسنده کتاب حکمت ناصری در مقدمه کتاب.

تازه جنگ جهانی اول تمام شده بود؛ محمدعلی فروغی در کنفرانس ورسای بود برای حفظ منافع ایران چه در مورد تمامیت ارضی و چه دریافت غرامت بابت رفع خرابی‌ها. ادینگتون ضد جنگ نیز در همین سال پیش‌بینی اینشتین در انحراف نور هنگام عبور از کنار خورشید را ثبت می‌کرد؛ و احمد شاه قاجار گندم‌های سلطنتی را احتکار می‌کرد و مردم از گرسنگی می‌مردند؛ آمار مرگ و میر ناشی از جنگ و قحطی از یکی دو میلیون تا ۱۰ میلیون یعنی از ۲۰ تا ۵۰ درصد جمعیت مردم ایران ادعا شده است. از آن تاریخ حدود ۱۰۰ سال می‌گذرد. ما در فقر کامل بودیم چه به لحاظ رفاهی و چه به لحاظ علمی. اما نوع بشر در بخشی دیگر از کره زمین مشغول تاخت و تاز در عرصه تفکر بود. بخشی از این تفکر در ابداع نسبیت عام توسط اینشتین متجلی شد، و حالا پس از صد سال امواج گرانشی را کشف کرده‌ایم، نمادی از دقت تجهیزاتی که حتی ۵۰ سال پیش تصور نشدنی بود، و هنوز بخش مثلاً صنعت مدرن ایران از آن دقت‌ها تصویری ندارد و هنوز تفکر توسعه‌ای ما متناسب با آن نشده است. این نسبیت چیست و در این صد سال چه کرده است؟ مبنای آن بسیار ساده است! این سادگی و زیبایی است که انسان را متحول می‌کند و گرنه فیلسوفان و متفکران «پیچیده» ما در دوران قاجار که «خورشید بودند

* پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف (مأمور به دانشگاه کاشان).

به این دهه است. کشف تابش زمینه کیهانی با دمای ۲ و ۷ درجه کلوین که گاموف در اواخر دهه ۴۰ پیش‌بینی کرده بود به یکباره نسبیت عام را در مرکز تحولات فیزیک قرارداد. پس از آن نسبیت عام دیگر یک نظریه فیزیکی تلقی شد و در بسیاری دانشکده‌های فیزیک، گروه‌های تحقیقاتی در این زمینه شروع به کار کردند. همین تحول باعث شد تعداد کثیری از فیزیک‌دانان که در زمینه‌های هسته‌ای و ذرات بنیادی مشغول کار بودند به سمت شناخت تحولات ستاره‌ها و چگونگی رمبش آنها و تشکیل سیاه‌چاله رو بیاورند. این شروع تحولات عمیق در این زمینه و شناخت اثرهای نسبیتی در کل فیزیک و اخترفیزیک و کیهان‌شناسی بود. قضیه‌های هاوکینگ و پنروز مربوط به الزام تشکیل تکینگی‌ها در کیهان در نیمه دوم همین دهه اثبات شد.

دهه پنجاه ش / هفتم: پس از کشف تابش زمینه کیهانی، نسبیت دانان در همه زمینه‌های مرتبط با تأثیر نسبیت عام در علوم فیزیکی به کاوش پرداختند. مهم‌تر از همه، کیهان‌شناسی و مدل انبساط عالم در اجتماع علمی پذیرفته شد و مدل‌های بدیل از جمله نظریه حالت پایا برای عالم به کنار رانده شد. در نتیجه به همه جنبه‌های تحول عالم در این چارچوب پرداخته شد تا آنکه در انتهای این دهه مدل استاندارد کیهان‌شناسی بر مبنای انبساط عالم و وجود یک تکینگی در ابتدای عالم به نام مه‌بانگ معیار کیهان‌شناسی نوین شد. در اوایل همین دهه اولین آشکارسازهای امواج گرانشی ساخته شد و ادعا شد که امواج گرانشی کشف شده است که البته تأیید نشد. اما پیشرفت در زمینه شناخت امواج گرانشی و تبدیل آن به زمینه‌ای مانند مبحث آنتن‌ها در الکترومغناطیس شروع شده بود. آنچه امروزه ماده تاریک نامیده می‌شود و در این دهه هنوز ماده ناپیدا نامیده می‌شد موضوع بررسی‌های نظری شده بود. گرچه اولین مقاله‌ها در این زمینه در دهه پیش منتشر شده بود اما پیشرفت اساسی آن در این دهه به دست آمد.

دهه شصت ش / هشتم: این دهه متقارن است با پیشرفت‌های فناوری در زمینه محاسبات رایانه‌ای، با ورود رایانه‌های شخصی به بخش علمی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی؛ و نیز پیشرفت در ابداع لیزرهای قوی و روش‌های پایدارسازی آنها و به‌کارگیری‌شان در تداخل‌سنجی. همچنین عوامل سیاسی مانند فروپاشی شوروی در ورود فناوری ایتیک تطبیقی از بخش نظامی به بخش علمی و به تبع آن رشد سریع کیفی این فناوری و به کارگیری آن در نجوم تحولی بی سابقه در دستاوردهای نجوم پدید آورد. به این ترتیب، شبیه‌سازی‌های اخترفیزیکی شروع شد. همین تحول نشان داد که ماده یارونی، چه پیدا و چه ناپیدا، نمی‌تواند به تنهایی تحول ساختارها را در کیهان توضیح بدهد. این موضوع باعث ابداع مفهوم امروزی ماده تاریک شد: ماده‌ای که آن را نمی‌شناسیم ولی باید باشد! پس تاریک به معنی «کم نور» و نادیدنی نبود بلکه قرار بود ابهام در نوع ماده را برساند. موضوعی شایان توجه در توانایی انسان در ابداع مفاهیم نوین. این مفهوم شروعی شد برای ساختن دینامیک‌های بدیل نسبیت عام برای توجیه دینامیکی ماده تاریک که در دهه‌های بعد گراننش تعمیم یافته نام گرفت.

علاوه بر این در اوایل این دهه، پس از تثبیت مدل استاندارد کیهان‌شناسی، برای چند مشکل اساسی آن در ابتدای مه‌بانگ، سناریوی تورم پیشنهاد شد. خیلی زود معلوم شد که مدل پیشنهادی اولیه برای تورم پذیرفتنی نیست و چیزی که ابتدا تصور می‌شد می‌توان به صورت یک نظریه به آن نگاه کرد

شبه‌افلیدسی بیان کند. اینشتین دید اگر شتاب را در نسبیت خاص وارد کند هندسه افلیدسی که مینکوفسکی یافته بود به هندسه ریمانی تبدیل می‌شود. پس لازم بود هندسه ریمانی را یاد بگیرد تا بتواند میان شتاب و نیرویی که ماده بر همه چیز وارد می‌کند یعنی گراننش ارتباط برقرار کند. این بود که سرانجام در سال ۱۹۹۴ نسبیت عام متولد شد. می‌بینیم چگونه سؤال‌های ساده و بجا، و توانایی در تبدیل سؤال به آنچه ما امروزه مدل‌سازی در علم می‌گوییم، نسبیت خاص و عام را به عنوان مدل‌هایی تأثیرگذار در تصور ما از طبیعت پدید آورد و انقلابی در علم به پا کرد. در چند سال اول، جواب‌های مهمی مانند جواب شوارتسشیلد، تقریب خطی و امواج گرانشی، انحراف نور و انتقال حسیض سیاره‌ها به دست آمد. اما اینشتین همچنان توانست خود را از «اعتقاد» به ایستا بودن کیهان، بخوانید فضا زمان، برهاند؛ به همین دلیل پس از این که دید معادله او برای کل کیهان جواب ایستا ندارد جمله‌ای اضافه کرد به نام جمله «کیهان شناختی» تا کیهان ایستا شود. هنوز دهه اول قرن ۱۴/ دهه دوم قرن ۲۰ شروع نشده بود. تحولات بعدی را در چند دهه تا امروز بیان می‌کنم.

دهه اول ش / دهه بیست م: این دهه مصادف است با کشف فرار کهکشان‌ها که سپس انبساط عالم نامیده شد. همزمان فریدمن روس جواب‌های کیهان‌شناختی عالم برای عالم همگن و همسانگرد را به دست آورد که با کارهای لومتر فرانسوی تکمیل شد. بعدها روبرتسون و واکر آمریکایی متریک این فضاها را به سبکی خاص نوشتند که نامشان ماندگار شد. این کشف باعث شد جمله کیهان‌شناختی اینشتین اهمیت خود را موقتاً از دست بدهد و امر انبساط عالم یا ایستا نبودن فضا زمان به مرور واقعیتی پذیرفتنی شود، گرچه فیلسوفان بسیار دیرتر از اینها توانستند با این امر کنار بیایند!

دهه دوم و بیست ش / سی و چهل م: در این دو دهه دنیا در گیر رکود اقتصادی و سپس جنگ جهانی دوم بود. نسبیت هنوز نظریه‌ای ریاضی با کمترین کاربرد در فیزیک تلقی می‌شد. اندک فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانانی که به نسبیت عام می‌پرداختند مشغول شناختن معادلات و به دست آوردن جواب‌های مختلف مستقل از نقش آنها در طبیعت بودند. این است که رده‌بندی جواب‌ها شروع شد و شناخت نسبیت دانان از جوانب معادله اینشتین عمیق‌تر شد. علاوه بر این، اولین کاربردهای نسبیت عام در ترمودینامیک و الکترومغناطیس مطرح شد. در اواخر دهه چهل ژرژ گاموف، فیزیکدان روس تبار آمریکایی که از طریق ایران از شوروی به آمریکا گریخته بود، تابش زمینه کیهانی را با دمای ۱۰ درجه کلوین پیش‌بینی کرد.

دهه سی ش / پنجاه م: جنگ جهانی دوم تمام شده است؛ اجتماع‌های علمی دوباره برگزار می‌شود؛ اولین گردهمایی نسبیت دانان در سال ۱۳۳۴/ ۱۹۵۵ تشکیل می‌شود که در مقاله‌نامه آن جمع‌بندی وضعیت نسبیت عام را می‌توان دید. اثر موسباور در همین دهه کشف می‌شود و اولین آزمون زمینی و آزمایشگاهی نسبیت عام یعنی انتقال به سرخ گرانشی به کمک اثر موسباور اندازه‌گیری می‌شود.

دهه چهل ش / شصت م: این دهه در تحولات نسبیت عام، شاخص است. در کنار یافتن جواب‌های شاخص جدید مانند متریک کر (kerr) برای جسم چرخان، شناخت عمیق‌تر متریک شوارتسشیلد، افق و تکینگی آن، ابداع و نیز اطلاق مفهوم ساهچاله متناظر با متریک شوارتسشیلد مربوط



این تابش به دست داد. تطبیق برآزش با پیشگویی نظری در حدی بود که بازماندگان مدافع مدل عالم پایا، که وجود این تابش مدلشان را بی اعتبار کرده بود، در مجله معتبر نیچر (Nature) فغان برآوردند که حق با ما بود چون هیچ مدلی نمی‌تواند با این دقت با رصد همخوانی داشته باشد و بنابراین انبساط عالم اعتبار ندارد! این حرف جدی گرفته نشد و این مقاله سند نهایی بی اعتبار بودن مدل عالم پایا برای کیهان‌شناسی و پذیرش قطعی مدل استاندارد کیهان‌شناسی شد. این موفقیت بی نظیر نه تنها باعث شد چند ده طرح رصدی برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر از تابش زمینه طراحی شود بلکه بخش‌هایی دیگر از کاربردهای نسبیت عام در کیهان‌شناسی رونق گرفت. از جمله موضوع همگرایی گرانشی و انواع پدیده‌های مرتبط با تأثیر ماده به شکل عدسی‌های گرانشی رونق گرفت و در همین دهه فناوری‌های محاسباتی برای همگرایی گرانشی مانند فناوری‌های تابش زمینه توسعه یافت و مبحث ریزهمگرایی و همگرایی ضعیف محاسبه پذیر و رصدپذیر شدند؛ در نتیجه بخش وسیع دیگری به کاربرد نسبیت عام اضافه شد.

با اطلاعات ماهواره کوبی، مطالعه ماده تاریک، و نیز امکانات رصدی جدید همگی شناخت دقیق‌تر ماده در کیهان هم ممکن شد و هم لازم. در سال آخر این دهه بود که نتیجه حدود یک دهه برنامه‌ریزی برای رصد ابرنواختران به عنوان شمع استاندارد نتیجه داد. این نتیجه ناباورانه نشان داد که انبساط عالم شتابنده شده برخلاف انتظار که می‌بایست کند شونده باشد. دو گروه رصدی مستقل از هم و در یک زمان به این نتیجه رسیدند و جرات کردند داده‌ها را تعمیم دهند و تفسیر کنند به وجود انرژی تاریک، ماده‌ای که از نوع متعارف نیست و گرگنه می‌شد همان ماده تاریک؛ اما مبهم یعنی تاریک است، پس لفظ انرژی تاریک به کار برده شد. این انرژی باید اثر دافعه داشته باشد برعکس ماده متعارف که همیشه جاذب است، پس باید با نوعی گرانش

یک بینش کلی یا سناریوی محتمل نیست. از آن پس مفهوم تورم بسیار با جزئیات بررسی شده و به مفهومی پذیرفتنی و بی‌بدیل تبدیل شد بدون آن که شاهدهی رصدی برای آن پیدا شده باشد. کشف اولین عدسی‌های گرانشی هم در همین دهه اتفاق افتاد و محاسبات نظری دهه چهل/ شصت تأیید شد و زمینه جدیدی از نسبیت عام با تأیید تجربی شروع به رشد کرد شبیه به موضوع تابش زمینه کیهانی در دهه چهل/ شصت.

امکانات رایانشی جدید باعث شد محاسبات عددی در نسبیت عام جدی گرفته شود. یکی از مهمترین مسئله‌های نسبیتی شناختن دینامیک برخورد دو جسم فشرده مانند دو سیاه‌چاله بود. همین شروع محاسبات عددی بود که نشان داد درک ما از افق سیاه‌چاله‌ها بسیار محدود است.

آموزش جدی و حرفه‌ای نسبیت عام در ایران نیز در این دهه در دانشگاه صنعتی شریف آغاز شد. تا آن موقع حتی نام این رشته با لفظ نادقیق و منحرف‌کننده نسبیت عمومی بیان می‌شد و هیچ یک از واژه‌های آن معادل فارسی نداشت. به طور مثال، در همین دانشگاه شریف، معادل اصطلاح اینواریان را لایتغیر می‌گفتند و در مقابل پیشنهاد ناوردا، که مدتی است کاملاً پذیرفته شده، مقاومت می‌شد و آن را فارسی غلط می‌انگاشتند.

دهه هفتاد ش/ نود م: تحول نظری و تجربی و رصدی در دهه قبل راه را برای بسیاری سؤال‌ها و پاسخ نظری و رصدی آماده کرده بود. تابش زمینه کیهانی، که دیگر مسلم پذیرفته می‌شد، برای شناخت جزئیات کیهان اولیه و نیز ساختارهای کیهانی اهمیت بسیار پیدا کرده بود. این تابش مانند تنها اثر انگشت عالم اولیه به حساب می‌آمد که لازم بود هرگونه اطلاع از وضعیت کیهان اولیه از آن استخراج شود. روش‌ها و فناوری محاسباتی برای استخراج اطلاعات از این تابش در چند دهه قبل توسعه یافته بود و در این دهه ماهواره کوبی (cobe) پرتاب شد و اطلاعات دقیقی از سراسر طیف

حال پس از صد سال کار پژوهشی در نسبیت عام، که نیم قرن آن را من شاهد و درگیر تحولات موضوع بوده‌ام، می‌خواهم وضعیت موجود این زمینه علمی را این گونه جمع‌بندی کنم:

— نسبیت عام نظریه‌ای کلاسیک شده است شبیه به الکتروپدینامیک در اوائل قرن بیستم؛

— نزدیک به دو دهه است که کوشش‌هایی برای آموزش آن در سطح کارشناسی شروع شده است؛

— کاربرد آن در رشته‌های مهندسی، حتی در ایران، باعث شده دانشجویانی از مهندسی این درس را بگیرند؛

— امواج گرانشی به مبحثی شبیه به مبحث آنتن‌ها در الکتروپدینامیک تبدیل شده؛

— کیهان‌شناسی نظری کاملاً مبتنی بر نسبیت عام است و می‌تواند در سه سطح مختلف آموزش داده شود؛

— مبحث گرانش کوانتومی بخشی از موضوع نسبیت عام شده و صرفاً مبحثی مرتبط با میدان‌ها و انرژی بالا تلقی نمی‌شود؛

— گرانش به عنوان نیرویی «برآمده» و نه بنیادی، چشم‌انداز تحولی عمیق را پیش رو می‌گذارد؛ این تحول جدید ممکن است گرانش کوانتومی را کاملاً محو کند یا شکل جدیدی به آن بدهد؛

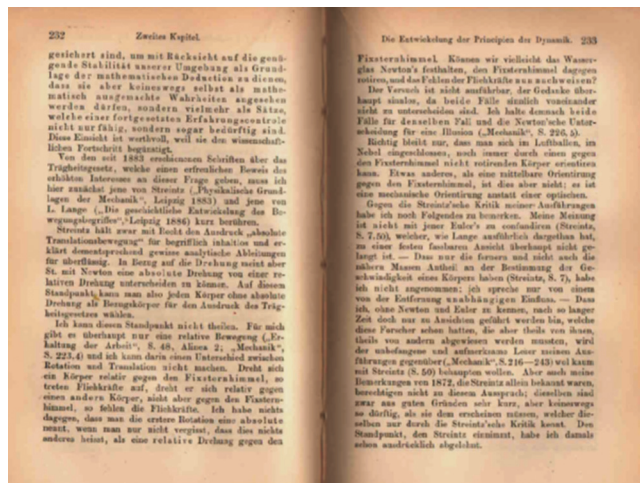
— نسبیت عددی مبحث گسترده‌ای است با چالش‌هایی پیچیده؛

— ارتباط نسبیت عام و سیاه‌چاله‌ها با میدان‌های همدیس شاخه‌ پر باری را به وجود آورده است؛

— موضوع سیاه‌چاله‌ها، افق‌های دینامیکی، ترمودینامیک سیاه‌چاله‌ها روشن‌تر شده و اطلاعات بسیار گسترده‌تر از قبل شده است؛

— تکنیکی اولیه عالم، انرژی تاریک، و ماده تاریک ممکن است تحولاتی بنیادی در بینش ما از گرانش و فضا - زمان پدید آورد.

در پایان مایلم به این سؤال هم پردازم که نقش ما در ایران در این تحولات چیست. از اوائل انقلاب در ۳۷ سال پیش که تدریس و پژوهش این مبحث در ایران شروع شد اکنون به مرحله‌ای رسیده‌ایم که بیش از ۵۰ نفر در ایران در این زمینه کار پژوهشی می‌کنند و مقاله منتشر می‌کنند. اما هنوز زود است بگوییم که ایران در این زمینه نقشی ایفا کرده است، به این معنی که سخت است بگوییم از ایران چه سؤالی مرتبط با نسبیت مطرح شده که در دنیا به آن توجه شده باشد. شواهدی هست که نشان از شروع طرح چنین سؤال‌هایی دارد اما باید دست کم یک دهه صبر کرد و دید این حدس تا چه اندازه معتبر است. علاوه بر نبود سؤال، طرحی تجربی یا رصدی هم تاکنون از ایران پیشنهاد نشده است تا بتوان دید توجه اجتماع جهانی گرانش‌کاران جلب می‌شود یا نه. ما هنوز در مدیریت اجتماع گرانش‌کاران نقشی نداریم گرچه من شش سال است که در هیئت مدیره انجمن گرانش و نسبیت عام در جهان، به انتخاب اعضای آن، حضور دارم اما چشم‌اندازی برای ده یا بیست سال آینده ادامه این نوع حضورها نمی‌بینم. علم ما هنوز در چاله مقاله‌شماری گیر کرده است و توجه به سؤال علمی باب نشده است. شاید باید منتظر نسل جدیدی بود که «مقاله‌نویسان» را به نسلی بالغ، متفکر، و توانا به طرح سؤال در اجتماع علمی جهانی تبدیل کند. ■



صفحه‌ای از کتاب ماک که در آن موضوعی که به اصل ماک و ابداع نسبیت عام منجر شد برجسته شده است.

دافعه یا دافعه گرانشی سروکار داشته باشیم. این معما شروعی شد برای قرن جدید میلادی، معمایی که هنوز حل آن در چشم‌انداز نیست.

شروع محاسبات عددی در نسبیت عام و بررسی برخورد سیاه‌چاله‌ها نشان داد که هنوز به لحاظ نظری اطلاعات ما در مورد افق سیاه‌چاله‌ها اندک است و مفهوم بسیار ساده سیاه‌چاله شوارتزشیلد یا کر برای درک این پدیده در حالت‌های دینامیکی کافی نیست و در این دهه مفهوم افق دینامیکی ابداع شد و مطالعه نظری آن با جزئیات بیشتر ادامه دارد.

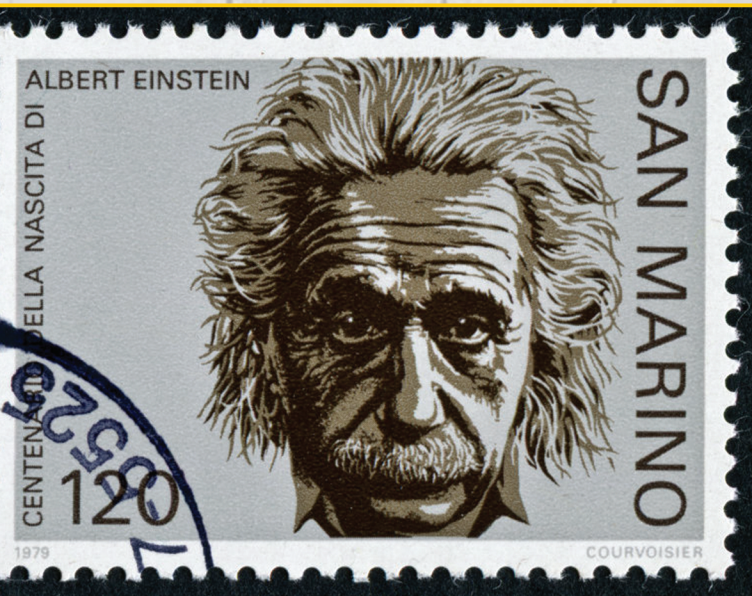
دهه هشتاد، دهه شروع هزاره سوم: انرژی تاریک به طور قطع تعیین‌کننده

آینده نسبیت و کیهان‌شناسی شد. گروهی به دنبال تغییر دینامیک برآمدند با این فرض که نسبیت عام دقت کافی ندارد. عده‌ای دیگر کوشیدند فرض‌های مدل استاندارد مانند همگنی عالم را کنار بگذارند تا پدیده انرژی تاریک را توضیح بدهند، و گروه سومی به ابداع نظری انواع انرژی‌ها از جمله خلاء به صورت جمله کیهان‌شناختی اینشتین پرداختند. بدیهی است که همزمان برای آزمودن هر یک از این مدل‌ها لازم بود تجهیزات رصدی خاص ساخته شود و نیز همان رصد ابرنواختران گسترش یابد. این دهه شروع تبدیل ایده‌های مرتبط با انرژی تاریک به طراحی و ساختن تجهیزات رصدی جدید بود که هنوز ادامه دارد.

ادامه تحقیقات مرتبط با تابش زمینه از جمله داده‌های رصدی جدید مانند داده‌های ماهواره پلانک، پارامترهای کیهان‌شناختی از جمله چگالی کل ماده در کیهان را با دقت بیشتری تأیید کردند که همان تأیید درصد انرژی تاریک و ماده تاریک و ماده باریونی بود.

اکنون، صد سال پس از ابداع نسبیت عام، تازه این نظریه داغ شده است. بحث‌های بنیادی آن البته کمرنگ‌تر شده و به قیمت پژوهش‌های محاسباتی و تجربی و رصدی به کنار رفته است. در همین آستانه صدمین سال بالاخره امواج گرانشی از برخورد دو سیاه‌چاله پرچم به طور مستقیم رصد شد. این دستاورد بسیار بزرگی است برای نسبیت تجربی. یادآوری کنم که کاربرد نسبیت در زندگی روزمره با راه‌اندازی ماهواره‌های تعیین موقعیت روی زمین، سامانه GPS، از دهه شصت، هشتاد شروع شده است: ناوبری فضایی و دریایی بدون استفاده از نسبیت خاص و عام امکان‌ناپذیر شده است.

معادله‌ای که کیهان را زیر و رو کرد



صد سال پیش، آلبرت اینشتین معادله‌ای نوشت که ادراک ما از فضا، زمان، و ماده را برای همیشه تغییر داد. با این معادله، عالم به صورت موجود تحول‌یابنده دینامیکی درآمد که سرگذشتی و تاریخی دارد و تولد و مرگ ستارگان، و پیدایش عناصر شیمیایی و گردآمدن آنها به صورت ترکیباتی پیچیده در کره‌های نو پدید، ویژگی ثابت این تاریخ است. پیدایش حیات بخشی از این تأثیر بزرگ کیهانی است و ما هم جزو بازیگران آن. درک امروزی ما از مهبانگ (بیگ بنگ)، سیاه‌چاله‌ها، و فضا زمان، و در حوزه عملی، دستگاه‌های موقعیت‌یاب (مانند GPS) به نحوی به کشف مهم اینشتین، که شیوه جدیدی برای توصیف گرانس در پیش می‌نهد، بستگی دارند.

این معادله عبارت است از

$$R_{\mu\nu} + (\Lambda - \frac{1}{2}R)g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

متغیرهای طرف چپ معادله، هندسه فضا و جریان زمان را توصیف می‌کنند و $T_{\mu\nu}$ در طرف راست، توصیف‌کننده نحوه توزیع انرژی و ماده در فضا است (ثابت‌های G ، c ، و Λ به ترتیب، نماینده ثابت گرانس در نظریه نیوتن، سرعت نور در خلأ، و ثابت کیهان‌شناختی‌اند). به قول یک فیزیکدان برجسته، ماده می‌گوید که فضا چگونه خمیده شود و فضا می‌گوید که ماده چگونه حرکت کند. این است اساس نظریه نسبیت عام اینشتین.

پیش‌بینی‌های اینشتین در این نظریه، با دقت زیاد، از محک تجربه سربلند بیرون آمدند. نوری که از ستاره‌های دور دست می‌رسد، سر راه خود به زمین هنگام عبور از نزدیکی ستارگان دیگر خمیده می‌شود، و زمان در میدان‌های گرانشی قوی کند می‌شود؛ سیاره عطارد به خاطر نزدیکی به خورشید، حرکت تقدیمی بسیار کندی دارد. به عبارت دیگر، تجمع بزرگی از ماده (و در نتیجه، انرژی، طبق فرمول $E=mc^2$ در نظریه نسبیت خاص) شکل هندسی فضا را خمیده می‌سازد و بر جریان زمان اثر می‌گذارد.

اما اکنون که صد سالگی نظریه نسبیت عام را جشن می‌گیریم، با پرسش‌های زیادی رو به رو هستیم که نشان می‌دهند این نظریه کامل نیست. مثلاً طبق این نظریه اگر به عقب، به لحظه آغاز پیدایش عالم، برگردیم، عالم منقبض شده به صورت نقطه‌ای با حجم صفر و انرژی بی‌نهایت در می‌آید که تصویر معقولی نیست. در واقع نمی‌توان نظریه گرانس اینشتین را برای زمان‌های بسیار نزدیک به مهبانگ به کار برد. در این مورد به نظریه‌ای نیاز است که واهمه‌ای از رویارویی با فواصل بسیار کوچک نداشته باشد، نظریه‌ای مانند نظریه کوانتومی که رفتار اتم‌ها و ذرات زیراتمی را توصیف می‌کند. ولی فعلاً راهی برای تلفیق نظریه کوانتومی با نسبیت اینشتین در دست نیست. همین طور در سال ۱۹۹۸ معمای

کیهانی دیگری رخ نمود و معلوم شد که کیهان نه تنها در حال انبساط است بلکه این انبساط دارای شتاب است، مرحله‌ای که از ۵ میلیارد سال قبل، به دلایلی فعلاً نامعلوم، شروع شده است. جالب اینجاست که حدود ۷۰ درصد از چیزی که کیهان را پر کرده در این شتاب نقش دارد و ما سرنخی برای شناسایی این چیز — موسوم به انرژی تاریک — نداریم. بعضی‌ها می‌گویند که نظریه اینشتین نیاز به تصحیح دارد و حرف نهایی را نزده است.

نظریه نیوتن الهام بخش کارهای چشمگیری در زمینه مکانیک سماوی بود که طی ۳۰۰ سال، تخیل و خلاقیت فیزیکدانان و ریاضیدانان را بر می‌انگیخت. اکنون در عصر اینشتین به سر می‌بریم، در کیهان شگفت‌انگیزی که از نظریه او سربلند آورده، و هنوز در آغاز کشف رازهایی هستیم که در آن نمادهای عجیب و غریب معادله او نهفته است.

اینشتین که سیاه‌چاله‌ها را دوست نداشت، اگر امروز می‌بود و می‌دانست که تقریباً هر کهکشانی یک سیاه‌چاله عظیم دارد در شگفت می‌شد، ولی مسلماً خوشحال می‌بود که انقلابی را آغاز کرده که سرچشمه شگفتی و تخیل برای این نسل و بسیاری نسل‌های بعدی است.

صد سالگی نسبیت عام مبارک باد!

• ترجمه، با تلخیص، از

<http://www.npr.org/sections/13.7/2015/11/25/457355281/the-equation-that-banged-the-cosmos>