

فکسه

«امی نوتر» و شکوه ریاضیات



● **وحید دامن افشان**
مروج علم

● در طول تاریخ علم، زنان دانشمند زیادی بوده‌اند که برای بسیاری از ما چهره شناخته‌شده‌ای نیستند. یکی از آنها «آمالی امی نوتر» است. او به خاطر دستاوردهای برجسته‌اش در زمینه جبر مجرد، توپولوژی و فیزیک نظری شهرت دارد و از سوی دانشمندانی چون «اینشتین» و «پاول الکساندروف» به‌عنوان نوتر زن زن در تاریخ ریاضیات نام برده شده است. درباره نوتر کتاب‌های زیادی به زبان آلمانی و انگلیسی نوشته شده است که به معرفی زندگی شخصی و دستاوردهای علمی او پرداخته‌اند. در ادامه به چند مورد از آنها اشاره می‌شود.

۱- Emmy Noether's Wonderful Theorem یک منبع آموزشی برای دانشجویان مقطع کارشناسی یا سال اول کارشناسی‌ارشد فیزیک با پیش‌زمینه کافی در ریاضیات است که «قضیه نوتر» و موضوعات مربوط به آن برای آنها تازگی دارد. کتاب دارای چهار بخش و ۱۰ فصل است و با یک زندگی‌نامه چندصفحه‌ای از نوتر و توضیحاتی ساده و قابل‌فهم در مورد مفاهیم تقارن، نامتغیری و قوانین پایستگی شروع می‌شود. در ویرایش دوم این کتاب، تفاوت قضیه اول و دوم نوتر با دقت بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد و تمرین‌ها، منابع و جزئیات فنی بیشتری ارائه می‌شود. همچنین در این ویرایش خواننده شاهد تصویر روشن‌تری از زندگی و تأثیر کارهای نوتر است. این کتاب را «دوآیتای، نوشوناندر» نوشته و انتشارات دانشگاه جان هاپکینز آن را در سال ۲۰۱۷ منتشر کرده است.

۲- Emmy Noether:The Mother of Modern Algebra در چهار بخش به معرفی زندگی امی نوتر می‌پردازد. بخش اول آن به دوران بچگی و مدرسه امی اختصاص دارد. بخش دوم روایت دوران دبیرستان و تحصیل در دانشگاه ارلانگن نوتر است. در این دو بخش تا حد زیادی خواننده با علایق شخصی و خلیقات و رفتار نوتر آشنا می‌شود. در بخش سوم نوتر به دعوت هیلبرت به دانشگاه گوتینگن می‌رود و بعد از کش‌وفوس‌های فراوان می‌تواند تدریس در آن دانشگاه را تحت نام خود شروع کند. در بخش چهارم کتاب خواننده با بعد علمی زندگی نوتر بیشتر آشنا می‌شود؛ مواردی مثل «پسران نوتر» که درواقع اسمی است که به دانشجویانش اطلاق می‌شد و نشان از رابطه صمیمی و نزدیک نوتر با دانشجویش‌اش دارد یا فعالیت در مؤسسه ریاضیات گوتینگن و شناخته‌شدن به‌عنوان یک ریاضی‌دان برجسته. بخش پایانی کتاب به دوران مهاجرت ناخواسته‌اش از آمریکا که در سال ۱۹۳۳ و شروع تدریس در کالج برین مایر و سال‌های پایانی عمرش اختصاص دارد. با وجود اینکه به نظر می‌رسد این کتاب، کامل‌ترین زندگی‌نامه درباره امی نوتر است؛ اما انتقادهایی هم به آن شده است؛ ازجمله اینکه «مارگارت تننت» (همچنان که در مقدمه کتاب نیز آورده است) زندگی نوتر را در این کتاب گاه با قوه تخیل خود درآمیخته و کتاب را در قالب یک رمان ارائه کرده است. این کتاب را «حسن فتاحی» با عنوان «امی نوتر/ مادر جبر نوین» ترجمه کرده و انتشارات مازیار آن را در سال ۱۳۹۳ در ۱۴۲ صفحه منتشر کرده است.

فتاحی درباره این کتاب می‌گوید: «این کتاب به‌طور عام برای تمام اهل کتاب، از مقطع اول راهنمایی به بالا مفید است. زبان کتاب بسیار ساده و شیواست و روایت داستانی آن بر جذابیت آن برای مخاطبان عام افزوده است». او در ادامه به شبهه وارده به کتاب اشاره کرده و می‌گوید: «اصل و اساس کتاب کاملاً مبتنی بر تاریخ و اطلاعات مستند از زندگی امی نوتر است».

۳- کتاب Emmy Noether:1882-1935 نیز در چهار بخش به معرفی نامی نوتر پرداخته است.

بخش اول مربوط به دوران دانشگاه ارلانگن از سال ۱۸۸۲ تا ۱۹۱۵. بخش دوم مربوط به دوران دانشگاه گوتینگن از سال ۱۹۱۵ تا ۱۹۳۳، بخش سوم مربوط به کالج برین مایر و پرینستون از پاییز سال ۱۹۳۳ تا بهار ۱۹۳۵ و درگذشت نوتر است. در پایان کتاب هم بعضی از آگهی‌ها و پیام‌های تسلیت مربوط به نوتر درگذشت نوتر و نیز فهرست آثار علمی نوتر از جمله مقاله‌هایش گنجانده شده است. این کتاب را «اگوست دیک» نوشته، «هیدی بلوش» آن را به انگلیسی برگردانده و انتشارات «بیرخاوز» آن را در سال ۱۹۸۱ منتشر کرده است.

۴- آخرین کتابی که به آن می‌پردازم Emmy Noether, A Woman of Greatness است.

این کتاب برای بچه‌ها نوشته شده است تا توجه آنها را به ریاضیات جلب کند. «مارسیا لین» در این کتاب ۶۰صفحه‌ای نشان می‌دهد که ریاضیات فقط برای پسرها نیست، بلکه دخترها هم می‌توانند به شکوه ریاضیات دست پیدا کنند؛ واقعیتی که بسیاری از دختران به آن اعتقاد ندارند. از لحاظ آماری ثابت شده است که معلمان در کلاس، پسرها را بیشتر از دخترها برای حل سؤال‌های ریاضی به پای تخته می‌برند. این کتاب به دخترها کمک می‌کند اعتمادبه‌نفس لازم برای حل سؤال‌های ریاضی در کلاس و نیز انجام تکالیف ریاضی در خانه را پیدا کنند. همچنین می‌تواند توسط معلمان و والدین به‌عنوان ابزاری برای نشان‌دادن تفاوت‌ها و شباهت‌های فرهنگی در اکثر فرهنگ‌هایی که در دنیا پراکنده هستند، مورد استفاده قرار گیرد. این کتاب در سال ۲۰۰۵ به وسیله انتشارات «آدرهاوس» منتشر شده است.

علم

«امی نوتر» بزرگ‌بانوی جبر جهان

ستاره‌ای درخشان در آسمان دنیای علم



عکس: آرش و دانشکده ریاضی دانشگاه ارلانگن

جنگی فرستادند و بعد از مدتی به سبب کهولت سن و بیماری به سال ۱۹۴۳ آزاد شده و به گوتینگن بازگشت، اما یک ماه بعد دار فانی را وداع گفت.

سال‌های جنگ

جنگ جهانی اول تأثیری کتمان‌ناپذیر در زندگی امی نوتر داشت. این جنگ خانمان‌سوز از سال ۱۹۱۴ تا ۱۹۱۸ به درازا کشید و طی آن طومار امپراتوری‌های بزرگی همچون عثمانی، آلمان، روسیه و اتریش-مجارستان در هم پیچیده شد و کشورهای جدیدی تأسیس شدند. در تاریخ بشر، تا پیش از جنگ جهانی اول هیچ جنگی این‌قدر تلفات نداشته است؛ قریب به ۱۰ میلیون کشته و میلیون‌ها زخمی. در همین جنگ بود که برای اولین‌بار از سلاح شیمیایی استفاده شد. جنگ جهانی دوم هم از سپتامبر ۱۹۳۹ شروع و در سال ۱۹۴۵ با برجای‌داشتن میلیون‌ها کشته و زخمی و ویرانی‌های بسیار پایان یافت. امی نوتر جنگ جهانی دوم را درک نکرد، چراکه چهار سال قبل از آن در آمریکا فوت کرده بود. اما

از بهترین سال‌های عمرش، ۲۲-۳۶سالگی، تحت‌تأثیر حوادث جنگ جهانی اول بود. بعد از به‌قدرت‌رسیدن «آدولف هیتلر» به سال ۱۹۳۳، در کموت صدراعظم و پیشوای آلمان بزرگ، دو سال پایانی زندگی این بانوی شهیر ریاضی‌دان دستخوش فرازونشیب‌های بسیار شد. برای اینکه بدانیم چرا جنگ جهانی اول به‌طور مستقیم بر زندگی امی نوتر تأثیر گذاشته است، باید توجه داشت

که وقتی امپراتوری آلمان در جنگ جهانی اول شکست خورد عده کثیری از مین‌پرستان افراطی آن روزگار آلمان یهودی‌ها و کمونیست‌ها را عامل و مسبب آن می‌دانستند. از دیگر سوی خانواده نوتر یهودی بودند و خود امی نوتر دلبستگی عمیقی به کمونیسم داشت. اگرچه خانواده پروفسور مکس نوتر مسیحی شده بودند، اما پنهان‌کردن اصالت یهودی‌شان امکان‌پذیر نبود. از دیگر تبعات جنگ جهانی اول آسیب‌های اقتصادی شدیدی بود که بر جامعه آلمان تحمیل شده بود. این اوضاع را در کنار تبعیض جنسیتی آن روزگار آلمان تصور کنید. این‌گونه است که امی نوتر تحت فشار مشکلات ناشی از جنگ هم بوده است. نباید فراموش کرد که در جنگ جهانی اول خانواده نوتر از حامیان آلمان بود و حتی برادرش «فریتس» به مدت چهار سال در جنگ شرکت داشت. شاید بتوان تبعات مستقیم جنگ جهانی اول بر امی نوتر را در مسائل مربوط به برادر کم‌توان ذهنی‌اش،

تا جایی که خطاب به آنان گفت: «من به هیچ‌وجه درک نمی‌کنم که چرا جنسیت استاد دلبلی علیه انتخاب او به‌عنوان دانشیار است زرد می‌کند! گذشته مؤسسه ما یک دانشگاه است نه حمام!» دسته دیگر مشکلاتش به خاطر باورهای سیاسی و مذهب او بود. بعد از استقرار هیتلر در هرم قدرت آلمان، عرصه برای کمونیست‌ها و یهودی‌ها تنگ شد. خیلی از آنها جلای وطن کرده و به کشورهای دیگر رفتند. به نیست اشاره کرد که حتی با غیریهودی‌ها هم به خاطر مخالفت با دولت نازی، رفتارهای ناپسندی صورت گرفت. با پروفسور دیوید هیلبرت که ستون اصلی گوتینگن بوده و شهرت علمی بسزایی داشت هرچند مسیحی بود، به سال ۱۹۴۱ یعنی شش سال بعد از فوت امی نوتر و در بچوبه جنگ جهانی دوم بر خوروی زشت صورت گرفت. به روایت کتاب ریاضیدانان نامی، او را به یازداشتگاه اسیران

«رابرت»، جست‌وجو کرد. تا زمانی که پدر امی نوتر، پروفسور ماکس نوتر در قید حیات بود رابرت در یک آسایشگاه خصوصی اقامت داشت. ولی بعد از مرگ پروفسور نوتر و بحران‌های اقتصادی امی نوتر که بابت تدریس در دانشگاه حقوقی هم دریافت نمی‌کرد، مجبور شد رابرت را به یک آسایشگاه دولتی منتقل کند. یکی از برادران امی، «آلفرد نوتر» به دلیل بیماری درگذشت و امی جنگ را عامل اصلی می‌دانست. هرچند جنگ فشارهای شدیدی را بر امی نوتر جوان تحمیل کرد، اما شخصیت قوی و حمایت‌های بزرگان ریاضی آن‌زمان باعث شد تا این برهه سخت هم بگذرد و امی نوتر-کماکان به پژوهش در دنیای ریاضی ادامه دهد. نکته دیگری که نباید از نظر دور داشت اخراج او از سرزمین مادری‌اش، بعد از به‌قدرت‌رسیدن حزب نازی در آلمان بود. هرچند جنگ جهانی دوم به‌طور رسمی از سال ۱۹۳۹ شروع شد، اما در خلال سال‌های بین دو جنگ جهانی مین‌پرستان افراطی در آلمان همواره

مرتصد جبران شکست بودند. امی نوتر که تا سال ۱۹۳۲ زندگی نسبتاً آرام و کم‌تنشی داشت و فقط به ریاضیات می‌اندیشید، در اواخر آن سال بود که اولین نشانه‌های برهم‌خوردن آرامش ظاهر شد. عده‌ای از نازیست‌ها می‌گفتند: «کمونیست یهودی صلح‌طلب باید اخراج شود». یک سال بعد از آن، امی نوتر و عده‌ای از پژوهشگران آلمانی که یکی از سه فاکتور بالا را داشتند، مجبور به ترک خاک سرزمین

مادری‌شان شدند. به نظر می‌رسد آنچه بیش از هر چیز امی نوتر را در معرض تعرض و اخراج قرار داد، حمایت شدید او از کمونیسم بود و مخالفت‌های صریحش با هر جنگی.

میراث امی نوتر

برجسته‌ترین میراث‌های امی نوتر در جهان ریاضیات می‌توان به «پسران نوتر» اشاره کرد. شاگردان امی نوتر به پسران نوتر در تاریخ ریاضیات معروف‌اند. امی نوتر از سال ۱۹۱۲، همان سالی که استادراهنمای دوره دکترایش و نیز دوست صمیمی پدرش، درگذشت، تا زمان فوتش یعنی سال ۱۹۳۵، در بازه زمانی ۲۳ سال، ۱۶ دانشجو را در دوره دکترا فارغ‌التحصیل کرد. او همچنین محققان پسادکتری نام‌آوری همچون «امیل آرتین» و «وان درواردن» داشت. وان درواردن ۲۰ سال از استادش امی نوتر کوچک‌تر بود و به سال ۱۹۹۶ در ۹۲سالگی در زوریخ درگذشت. او نیز همچون امی نوتر در دوران رایش



امی نوتر و شاگردانش که به پسران نوتر معروف‌اند

سوم و میانه جنگ جهانی دوم، آلمان را به قصد آمریکا ترک کرد. امیل آرتین هم دیگر ریاضی‌دان بزرگ آلمانی بود که بعد از چندین سال تحقیق در کنار امی نوتر و دیگر استادان برجسته گوتینگن و نیز سال‌ها تدریس در همان دانشگاه، با وجود اینکه یهودی نبود، در سال ۱۹۳۴ جلای وطن کرد و به سمت استادی ریاضیات در دانشگاه پرینستون آمریکا رسید. دانشجویان امی نوتر به‌ترتیب سال فارغ‌التحصیلی‌شان عبارت‌اند از: هانس فالنبرگ (دانشگاه ارلانگن، ۱۹۱۲)، فریتس سایدلمن (دانشگاه ارلانگن، ۱۹۱۶)، مارگارته هرمان (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۲۶)، هنریش گریل (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۲۷)، رودولف مولرز (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۲۷)، ویلهلم دوراته (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۲۷)، ورتر وبر (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۳۰)، یاکوب لیونتسکی (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۳۱)، مکس دورینگ (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۳۲)، هانس فیتینگ (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۳۳)، ارنست ویت (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۳۴)، چیونگ تسن (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۳۴)، اتو شیلینگ (دانشگاه

ماربورگ، ۱۹۳۵)، ورنر وربک (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۳۵)، راف استافر (دانشگاه برین ماور، ۱۹۳۵)، ولفگانگ ویچمان (دانشگاه گوتینگن، ۱۹۳۶)، امی نوتر قبل از مراجعت به گوتینگن دو شاگرد در ارلانگن فارغ‌التحصیل کرده و در اقامت کمتر از ۲۰ سال در گوتینگن ۱۲ دکتر ریاضی را به جامعه علمی تقدیم کرد. نیم‌نگاهی به عناوین پایان‌نامه‌های دکترای شاگردانش نشان از نگاه تیزبینانه استادشان دارد. امی نوتر بیش از محاسبات به مفاهیم عمیق می‌اندیشید. او تقریباً ۴۰ مقاله منتشر کرد، اما تک‌تک مقالاتش با همکاران یا شاگردانش از چنان کیفیتی برخوردار بودند که مرزها را در زمینه کاری خودشان جابه‌جا کردند. از بهترین مصادیق برای نشان‌دادن

تأثیرات پسران نوتر، یافتن ردپای آنان در یکی از بزرگ‌ترین مکاتب ریاضی قرن گذشته اروپا، مکتب بوراکي است. قبل از روی‌کارآمدن دولت نازیسم در آلمان، گوتینگن دانشگاهی طراز اول بود و محل رفت‌وآمد دانشمندان صاحب‌نام. آنجا مدینه فاضله ریاضی‌دانان بود و البته هنوز هم از اعتباری جهانی برخوردار است. گوتینگن که چهره‌های درخشانی همچون «وید هیلبرت»، «کلاین»، «ریشارت کوراتن»، «ریمان»، «گوس»، «دیریکله» و... را در چند صد سال در خود جای داده، بدون شک نقشی بی‌بدیل در تاریخ ریاضیات داشته است. در دوران امی نوتر، ریاضیات گوتینگن آنچنان پیش‌تان بود که ریاضی‌دان طرازاولی همچون «الکساندروف» گاه به بیگاه گوتینگن می‌آمد و با ریاضی‌دانان آنجا به تبادل نظر می‌پرداخت. امی نوتر هم در سال ۱۹۳۰ چندین ماه را در دانشگاه مسکو و در کنار آلکساندروف گذراند. الکساندروف از بزرگان توپولوژی موضعی است.

جلای وطن و مرگ

امی نوتر بعد از جلای وطن و مهاجرت به آمریکا، ابتدا چند ماه را در مرکز مطالعات پیشرفته پرینستون سپری کرد و سپس به سمت استادی کالج دخترانه برین ماور رسید. آنچه از نوشته‌ها برمی‌آید حاکی از این است که او در آمریکا از موقعیت شغلی خوبی برخوردار بود، اما همواره دلتنگ میهنش بود. او درحالی‌که در آنجا روی جبر ناجابه‌جایی کار می‌کرد، بیمار شد و تحت عمل جراحی قرار گرفت، اما به نگاه دمای بدنش بالا رفت و چشم از جهان فروبست. امی در زمان فوتش ۵۳ سال داشت و به اوج استعداد و هوش خود رسیده بود. او برخلاف خیلی از ریاضی‌دانان استعداد خود را چندین سال بعد از ۳۰سالگی نشان داد. در حالی که بسیاری از ریاضی‌دانان از سنین جوانی کار خود را شروع می‌کنند. بعد از فوت امی نوتر، دانشمندان بسیاری را یادبود بزرگ‌بانوی جبر بیانیه صادر کردند. کمتر از دو هفته بعد از فوت او، همکار و دوست او، هرمان وایل که همانند امی از آلمان اخراج شده بود، در مراسم یادبود او در برین ماور چنین گفت: «... او نمونه‌ای از قدرت و سرزندگی بود. او سلامت روی زمین زندگی می‌کرد. سرزنده، شاد و شجاع. به‌طوری‌که هیچ‌کس خودش را برای چنین رویدادی آماده نکرده بود. امی نوتر در ریاضیات قدرت خلاقانه فوق‌العاده‌ای داشت. توانایی فنی او -در جبر- قابل وصف نبود و تجربه‌های فراوانی به‌دست آورده بود. امی در زندگی به تعادلی مناسب رسیده بود و مشتاقانه روی مسائل جدید کار می‌کرد. اکنون صدایش آرام و کارهایش متوقف شده است». آلکساندروف، همکار ریاضی‌دان او در دانشگاه مسکو درباره‌اش چنین نوشته است: «زنی بزرگ! زنی با قلب بزرگ که روح زنانه او پایه روابط او با سایر افراد را شک می‌دهد. او به همه بشر علاقه دارد. او عاشق مردم، علم، زندگی گرم و لذت‌بخش است. این قلب او را تبدیل به زنی توانا کرده است». زمانی که «البرت اینشتین» در روزنامه نیویورک‌تایمز خبر فوت امی نوتر را خواند، به سردبیر روزنامه چنین نوشت: «خانم نوتر خلاق‌ترین ریاضی‌دان نابغه‌ای بود که سطح علمی او بالاتر از هر زنی بود. بیشتر ریاضی‌دانان تمام عمر خود را درگیر مسائل جبر بوده‌اند، اما او روش‌هایی را کشف کرد که به رشد ریاضی‌دانان نسل جوان کمک می‌کرد». در سال ۱۹۹۳، سیارکی که در سال ۱۹۵۵ کشف شده بود، به نام امی نوتر نام‌گذاری شد که بسیار شباهت بود. او همچنان در آسمان علم در حال درخشیدن است.

● **عضو هیئت تحریریه فصلنامه نقد کتاب علوم محض و کارپردی، مترجم کتاب‌های علمی دانشگاهی و عمومی**

نگاه نو

سهم «امی نوتر» در فیزیک مدرن



● **یاسمن فرزانه***

● سهم امی نوتر در پیشبرد جبر نوین بی‌بدیل است. در اینجا به مرور مفاهیمی به نام جریان و بار نوتر می‌پردازیم که در جای‌جای فیزیک مدرن به آن برمی‌خوریم. بار و جریان نوتر مفاهیمی هستند در ارتباط تنگاتنگ با مفهوم تقارن. بشر از دیرباز با مفهوم تقارن آشنا بوده و در هنر و معماری کلاسیک از آن بهره‌ها برده است. در تکوین مدل‌های فیزیکی، به‌خصوص در شکل‌گیری مدل‌هایی که توصیفگر اجزای سازنده جهان یعنی ذرات بنیادی هستند، نقش تقارن‌ها بسیار پررنگ‌تر است. در واقع هر مدل فیزیکی توصیفگر طبیعت، با تقارن‌هایش در چارچوب فرمالیزم نظریه میدان مشخص می‌شود.

برای آشناشدن با قضیه نوتر، بهتر است برخی تقارن‌های آشنا در پیرامون خود را مرور کنیم. دایره و مربعی را در نظر بگیرید و آنها را حول مرکز بچرخانید. اگر میزان چرخش مربع، ضریبی صحیح از ۹۰ درجه باشد، مربع به حالت اول بازمی‌گردد. در عبارت دیگر شکل مربع نسبت به دوران‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه متقارن است. این در حالی است که دایره تحت هر دورانی با هر زاویه دلخواه حول مرکز متقارن است. در مورد اول گفته می‌شود تقارن گسسته و در مورد دوم تقارن پیوسته است. مثال دیگر تقارن گسسته، تقارن آشنای آینه‌ای است. در حالت کلی در تقارن پیوسته میزان تبدیل با پارامتری پیوسته داده می‌شود. در مثال دوران دایره، زاویه دوران همان پارامتری پیوسته است که می‌تواند هر مقداری بین صفر تا ۳۶۰ درجه باشد.

اما نوتر نشان داد که به هر تقارن پیوسته‌ای می‌توان یک جریان و یک بار پایسته نسبت داد. هرچند این بار می‌تواند از محلی به محل دیگر جریان پیدا کند، اما مقدار کل بار در جهان در طول زمان تغییر نمی‌کند و بقا دارد. در مورد تقارن‌های پیمانه‌ای الکترومغناطیس، بار نوتر همان بار الکتریکی معروف است که مقدار آن پایسته است و به عبارت دیگر بقا دارد.

از منظر قضیه نوتر، تکانه (مومنوم) و تکانه زاویه‌ای نیز نوعی بار نوتر محسوب می‌شوند که به ترتیب متناسب به تقارن انتقالی و دورانی هستند. ما انسان‌های پس‌گالیله، بر اساس ملاحظات کلی انتظار داریم که هیچ نقطه‌ای از فضا و هیچ لحظه‌ای از زمان ارجحیت نداشته باشد. باور بر این است که قوانین فیزیکی حاکم بر طبیعت روی زمین و روی ماه و آن سوی کهکشان یکسان باشد. به عبارت دیگر، انتظار داریم که فرمالیسمی که تحولات دینامیکی را توصیف می‌کند، تحت انتقال دلخواه در زمان ناوردا باشد. ناوردایی تحت انتقال فضایی در سه بعد تحت انتقال در زمان به معنای وجود چهار تقارن پیوسته است که بارهای نوتر متناظر با آنها همان بردار سه‌بعدی تکانه و انرژی هستند که هر چهار مورد بقا دارند. قضیه نوتر به ما می‌گوید با گذر زمان و در فرایندها انرژی و تکانه کل تغییر نمی‌کند. تمام مشاهدات این نتیجه را تأیید می‌کنند. اگر روزی در آزمایش‌ها مشاهده کنیم که بقای تکانه و انرژی نقض شده است، باید در فرض‌های زیربنایی‌مان- یعنی در تقارن انتقالی در فضا و زمان- تجدیدنظر کنیم. این رابطه مهم از دستاوردهای کم‌نظیر قضیه نوتر است. همین‌طور انتظار داریم که در فضا جهت مرجعی وجود نداشته باشد و فرمالیزم‌های فیزیکی تحت دوران ارجحیت ناوردا باشند. به عبارت دیگر، انتظار داریم اگر دستگاه‌های آزمایشی را حول هر محور دلخواه در فضا با هر زاویه دلخواه بچرخانیم، به همان نتایج آزمایشگاهی دست یابیم. بار نوتر-متناظر با تقارن‌های دورانی، تکانه زاویه‌ای است. همه مشاهدات تا به امروز حاکی از بقای تکانه زاویه‌ای است. بنابراین قضیه نوتر پایستگی و بقای تکانه زاویه‌ای را به تقارن دورانی مربوط می‌کند.

تقارن‌های پیوسته در فیزیک بنیادی بسیاریند. البته همه آنها تقارن‌های فضا و زمان که نسبت به آنها شهود داریم، نیستند. برای فهم اغلب آنها ریاضیات نسبتاً پیچیده‌ای نیاز است. جالب آنکه مستقل از فیزیک گوتینگن، اثبات قضیه نوتر دشوار نیست. در واقع، این قضیه کلی است و بر هر تقارن پیوسته‌ای -مستقل از آنکه چقدر پیچیده باشد- صادق است. در قالب فرمالیزم نظریه میدان (کوانتومی یا غیرکوانتومی) در چند خط می‌توان این قضیه را به اثبات رساند. قضیه چنان زیبا و به ظاهر ساده است که در نگاه اول شاید به عمق آن پی نبریم. اما به هنگام پژوهش، جابه‌جا. از این قضیه بهره می‌بریم. اغلب اوقات وقتی شرایط مسئله غیربدیهی می‌شود ناگزیر می‌شویم به اثبات قضیه رجوع کنیم و فرض‌های آن را بازبینی کنیم. به این ترتیب رفته‌رفته عمق و زیبایی قضیه نوتر بر ما آشکار می‌شود. بی‌اندازه شگفت‌انگیز است که از دل قضیه‌ای کاملاً ریاضی با پیش‌فرض‌هایی تجربدی بتوان به نتایجی نظیر بقای کمیت‌های فیزیکی رسید که در آزمایشگاه قابل‌راستی آزمایشی باشند.

● **استاد فیزیک پژوهشگاه دانش‌های بنیادی**