نوشته‌ها

امی نوتر، ریاضیدانی که در عمر کوتاهش سیمای فیزیک را تغییر داد

برگردان: علی پارسیان*

این متن ترجمه‌ای از مقاله زیر است:

Emily Conover, In her short life, mathematician Emmy Noether changed the face of physics, Science News, June 23, 2018.

شکل ۱: زیبایی تقارن: امی نوتر تأثیر پایداری بر همکاران و دانشجویان خود، و بر ریاضیات و فیزیک داشت. sam Falconcer

در یک غروب تابستانی گرم، شخصی که از گوتینگن[1] سال‌های ۱۹۲۰ در آلمان[2]، دیدن می‌کرد، هیاهویی را از یک مهمانی در آپارتمانی در جادهٔ فریدلندر[3] شنید. با یک نظر، گروهی از دانش‌پژوهان را از پنجره دید. نوشیدنی و همهمهٔ گفتگو در بارهٔ مسائل ریاضیِ روز جریان داشت. او باید صدای خندهٔ بانویی را از میان همهمه شنیده باشد: همان بانوی میزبان، امی نوتر[4]، یک نابغهٔ خلاّق ریاضیات.

در زمانی که زنان از نظر ذهنی کمتر از مردان به شمار می‌آمدند، نوتر (که نور-تر[5] تلفّظ می‌شد) مورد تحسین همکاران مرد خود قرار داشت. وی معمّای چالش‌برانگیزی از نظریهٔ نویافتهٔ گرانش آلبرت اینشتین[6]، نظریهٔ نسبیّت عام[7]، را حل کرد، و در این فرآیند به اثبات یک قضیهٔ انقلابی در ریاضیات، که راه فیزیکدانان را در مطالعهٔ جهان تغییر داد، نایل گردید.

امروزه، یک قرن از ۲۳ ژوئیهٔ ۱۹۱۸، روز ظهور قضیهٔ مشهور نوتر می‌گذرد. قضیه‌ای که اهمّیت آن هنوز هم پا بر جا است. به بیان فرانک ویل‌چک فیزیکدانِ نظریِ ام آی تی،[8] «قضیه‌ای که ستارهٔ راهنمای فیزیک قرون ۲۰ ام و ۲۱ ام است».

نوتر، ریاضیدان پیشتاز زمان خود بود. علاوه بر قضیه‌اش، که امروزه برای سادگی «قضیهٔ نوتر» نامیده می‌شود، خود آغازگر انتظامِ تام و تمامی در رشته‌ای از ریاضیات، موسوم به جبر مجرّد است.

اما در طول زندگی خویش، به آسایش نرسید. پس از اخذ دکترا، سال‌ها بدون درآمد کار کرد. هر چند در سال ۱۹۱۵، کارش را در دانشگاه گوتینگن آغاز کرد، ولی در ابتدا مجاز بود به عنوان دست‌یار، تحت نام همکار مرد خود تدریس کند، آن چنان که تا سال ۱۹۲۳، حقوق دریافت نکرده بود. ده سال بعد، از سوی دولت نازی به خاطر شغلش تحت فشار قرار گرفت. او یهودی، و مشکوک به داشتن باورهای سیاسی چپگرایانه بود. بدین گونه بود که، روشنی شب‌نشینی‌های لذّت‌بخشِ ریاضیِ نوتر به خاموشی گرایید. وی برای کار به کالج برین‌ماور[9] در پنسیلوانیا[10]، به ایالات متّحده رفت و کمتر از دو سال بعد، قبل از این‌که اهمّیت قضیه‌اش کاملاً شناخته شود، به سبب عوارض جرّاحی درگذشت. او ۵۳ سال داشت.

هرچند بیشتر مردم چیزی از نوتر نشنیده‌اند، اما فیزیکدانان، قضیهٔ او را می‌ستایند. قضیه‌ای که به بیان روت گرگوری[11]، فیزیکدانِ نظریِ دانشگاه دورهام[12] انگلستان[13] «در همهٔ چیزهایی که انجام می‌دهیم، نفوذ دارد». گرگوری، که در مورد اهمیّت کار نوتر سخنرانی کرده است، دربارهٔ گرانش، همان عرصه‌ای که میراث نوتر در آن خودنمایی می‌کند، مطالعه دارد.

[1]Göttingen [2]Germany [3]Friedländer [4]Emmy Noether [5]NUR-ter [6]Albert Einstein [7]General theory of relativity [8]Frank Wilczek [9]Bryn Mawr College [10]Pennsylvania [11]Ruth Gregory [12]Durham University [13]England

$$\frac{d}{dt}\left(\sum_a \frac{\delta L}{\delta \frac{dq_a}{dt}}\delta q_a\right)=0$$

شکل ۲:طبق قضیهٔ نوتر، تقارن‌هایی که زیبایی ثابت دارند سبب پایداری کمیت‌های اصلی می‌گردند. معادلهٔ بالا این مفهوم را توضیح می‌دهد. کمیت داخل پرانتز در طول زمان تغییر نمی‌کند.

۱. ایجاد ارتباط

نوتر، وجود ارتباطی بین دو مفهوم مهمِ فیزیک را پیش‌گویی کرد: قانون‌های بقا و تقارن‌ها. یک قانون بقا- مثلاً بقای انرژی، بیان می‌کند که کمیت خاصی باید ثابت بماند. این‌که ما تا چه اندازه تلاش کنیم، موضوعیتی ندارد؛ انرژی نمی‌تواند خلق شود یا از بین برود. اطمینان از بقای انرژی در حل بسیاری از مسائل، از محاسبهٔ سرعت توپی که از یک تپّه فرو می‌غلتد گرفته، تا درک مراحل هم‌جوشیِ هسته‌ای، به فیزیکدانان کمک می‌کند.

تقارن‌ها تغییراتی را توضیح می‌دهند که می‌توانند بدون توجه به این‌که یک شئ چگونه به نظر می‌رسد یا عمل می‌کند به وجود آیند. یک کره، کاملاً متقارن است: با دوران در هر جهت، بدون تغییر می‌ماند. به همین ترتیب، تقارن‌ها به قوانین فیزیک راه یافته‌اند: معادلات، در مکان‌های مختلفِ زمانی یا فضایی تغییر نمی‌کنند.

شکل ۳: قضایایِ رؤیاییِ امی نوتر در سال ۱۹۱۸، به رُکنی برای فیزیک جدید تبدیل شده‌اند. Bryn Mawr College Library

قضیهٔ نوتر حکم می‌کند که هر چنین تقارنی دارای یک قانون بقای وابسته است و برعکس، برای هر قانون بقا، یک تقارن وابسته وجود دارد.

بقای انرژی، به این حقیقت گره خورده است که، فیزیکِ امروز همان فیزیکِ دیروز است. به همین ترتیب، در بقای اندازه حرکت، آن چه که قضیه می‌گوید، بیانگر آن است که فیزیک، در این جا همان است که در هر جای دیگر جهان. این وابستگی‌ها نظم و برهانی را آن سوی ویژگی‌های جهان آشکار می‌سازند که تا پیش از آن، قراردادی به نظر می‌رسیدند.

در طی نیمهٔ دوم قرن بیستم، قضیهٔ نوتر، بنیانی برای الگوی معیار فیزیک ذرّات گردید که طبیعت را بر اساس مقیاس‌های ریز توضیح می‌دهد و وجود ذرّهٔ بوزون هیگز[۱۴] را که در سال ۲۰۱۲ با هیاهوی بسیار کشف شد، پیش‌بینی می‌کند[۱۵] (۱). امروزه، هنوز هم فیزیکدانان به فرمول‌بندی نظریّه‌های جدیدی اشتغال دارند، که بر کار نوتر متکّی‌اند.

وقتی که نوتر از دنیا رفت، اینشتین در *نیویورک تایمز*[۱۶] نوشت: «نوتر مهم‌ترین استعداد ریاضی خلاّقی است که از زمان آغاز آموزش عالی زنان تا کنون، پا به عرصهٔ وجود نهاده است[۱۷]». این یک ستایش صمیمانه است. ستایش اینشتین، به جای به‌رسمیّت‌شناختن این‌که او بین همکاران مرد خود نیز شاخص بوده است، به جنس نوتر اشاره دارد. به همین ترتیب، ریاضیدانان چندی نیز که او را ستوده‌اند، به هیکل سنگین او اشاره داشته‌اند و یکی از آن‌ها حتّی در مورد زندگی شخصی او نیز اظهارنظر کرده‌است. حتی آنانی که نوتر را تحسین کرده‌اند، با معیارهای متفاوتی نسبت به آن‌چه که برای داوری مردان داشته‌اند، در بارهٔ او داوری کرده‌اند (۲).

۲. تقارن، راه را می‌یابد

چیزی در مورد تقارن وجود دارد که ذاتاً خوشایند است[۱۸]. برخی مطالعات نشان می‌دهند که افراد بشر، شکل‌های متقارن را زیباتر از انواع نامتقارنِ آن‌ها می‌یابند. دو نیم‌رخ یک چهره، تقریباً تصویر آینه‌ای یکدیگراند، خاصیّتی که به تقارن بازتابی معروف است. هنر، بیشترْ تقارن، و به‌ویژه معرّق‌کاری‌ها، منسوجات و پنجره‌ها با شیشه‌های رنگی را نمایش می‌دهد. طبیعت نیز این‌چنین است: یک دانهٔ برف، وقتی که ۶۰ درجه می‌چرخد، به همان صورت اوّل به نظر می‌رسد. برخی تقارن‌های دورانی مشابه، به عنوان نمونه در گل‌ها، تارهای عنکبوت، و توتیاهای دریایی خودنمایی می‌کنند.

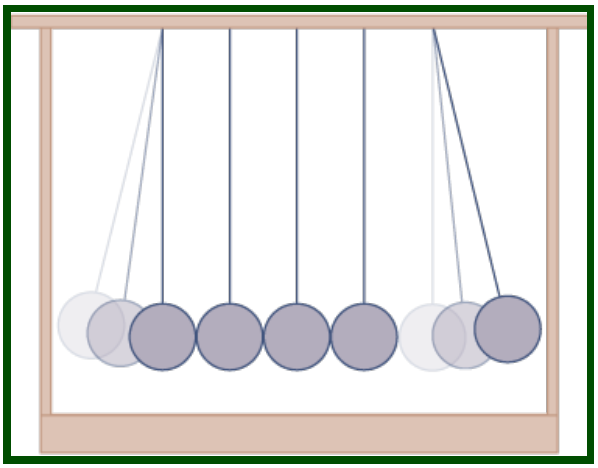
۳. قانون‌های ناگسستنی

قانون‌های فیزیک در فضا، زمان و دوران متقارن هستند. بنا بر قضیهٔ نوتر، این تقارن‌ها به بقای اندازه حرکت، انرژی و اندازه حرکت زاویه‌ای اشاره دارند.

[14]Higgs boson [15]SN: 7/28/12, p. 5 [16]New York Times [17]Noether was the most significant creative mathematical genius thus far produced since the higher education of women began. [18]SN Online: 4/12/07

۱.۳. گهوارهٔ نیوتن[۲۰]

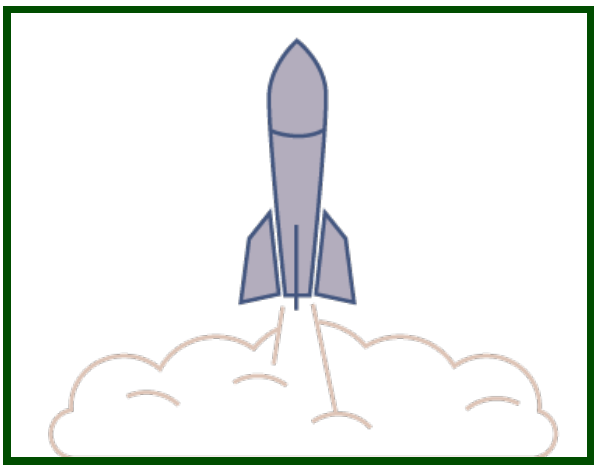
وقتی که یک گوی، به ردیف گوی‌ها ضربه می‌زند، یک گوی از انتهای دیگر بیرون می‌جهد، و اندازه حرکت را باقی نگه می‌دارد. چرا؟ تقارن فضا.



شکل ۴: E. Otwell

۲.۳. برخیزش

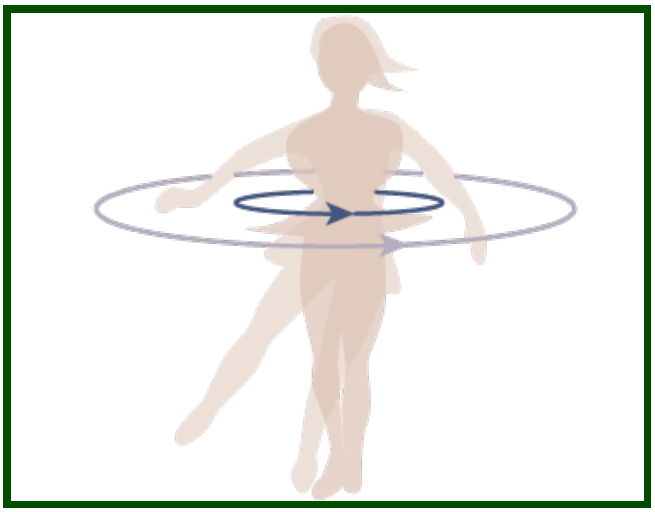
پرتاب موشک، انرژیِ شیمیاییِ سوخت را به انرژی‌های جنبشی و پتانسیل تبدیل می‌کند. انرژی کل، به سبب تقارن زمان ثابت می‌ماند.



شکل ۵: E. Otwell

۳.۳. چرخش اسکیت‌باز

وقتی اسکیت‌باز، بازوانش را در آغوش می‌کشد؛ چرخش او سرعت می‌گیرد. زیرا به سبب تقارن دوران، اندازه حرکت کل زاویه‌ای باید بدون تغییر باقی بماند.



شکل ۶: E. Otwell

اما قضیهٔ نوتر مستقیماً به این مثال‌های آشنا نمی‌پردازد. زیرا تقارن‌هایی که ما در اطراف خود می‌بینیم و تحسین می‌کنیم، گسسته‌اند؛ آن‌ها فقط برای مقادیر معیّنی برقرار اند، مثلاً برای دانهٔ برف، دقیقاً ۶۰ درجه است. تقارن‌های قضیهٔ نوتر پیوسته‌اند. مهم نیست که تا چه اندازه در فضا یا زمان حرکت می‌کنید.

یک نوع تقارن پیوسته، که به نام تقارن انتقالی شناخته می‌شود، بدین معنی است که قوانین فیزیک، وقتی در کیهان حرکت کنیم بدون تغییر باقی می‌مانند.

قوانین بقایِ وابسته به هر تقارنِ پیوسته، ابزار اصلی فیزیک هستند. در فیزیک کلاسیک، دانش‌آموزان می‌آموزند که انرژی، همواره باقی است. وقتی که یک توپ بیلیارد به دیگری برخورد می‌کند انرژیِ حرکتِ توپِ اول تقسیم می‌شود. بخشی مصروف حرکت توپ دوم می‌شود، بخشی صدا یا گرما تولید می‌کند، و بخشی نیز با توپ اول می‌ماند. اما مقدار کل انرژی تغییر نمی‌کند- مهم نیست چقدر، برای اندازه حرکت نیز همین‌طور است.

این قوانین به عنوان حقایق تکراری تعلیم داده می‌شوند، امّا در پشت وجود آن‌ها یک برهان ریاضی وجود دارد. به بیانِ نوتر، بقای انرژی، پی‌آمدِ تقارنِ انتقال در زمان است. به همین ترتیب، بقای اندازه حرکت، ناشی از تقارنِ انتقال در فضا است، و بقای اندازه حرکت، همان خاصیتی که اجازه می‌دهد اسکیت‌باز، سرعت چرخش خود را با در آغوش کشیدن بازوانش بالا ببرد، نتیجهٔ تقارنِ دورانی است، همان نظری را که فیزیک، در مورد ما که در فضا به دور خود می‌چرخیم، می‌گوید.

در نظریهٔ نسبیّت عام اینشتین، دریافتِ مستقلّی از زمان یا فضا وجود ندارد، و دشواریِ فهم قوانین بقا بیشتر است. این همان

[20] Newton's cradle

پیچیدگی است که نوتر را به صدرِ اوّلینْ جایگاه آورد.

۴. گرانش و نوتر

در ۱۹۱۵، نسبیّت عام، نظریّهٔ نوِ افسون کننده‌ای بود. ریاضیدانان آلمانی، دیوید هیلبرت[۲۱] و فلیکس کلاین[۲۲] ، هر دو در دانشگاه گوتینگن، در عجایب نظریّهٔ نو غوطه‌ور بودند. هیلبرت در گسترش نظریّهٔ ریاضیِ پیچیده، که گرانش را به عنوان نتیجه‌ای از فضا زمان خمیدهٔ مادّه توصیف می‌کرد، با اینشتین در رقابت بود[۲۳].

امّا هیلبرت و کلاین در حل یک معمّا فروماندند. تلاش‌های آنان در استفاده از کالبد نظریّهٔ نسبیّت برای نوشتن معادله‌ای در مورد بقای انرژی به بدیهیّات انجامید: مانند نوشتن این‌که «۰ با ۰ برابر است»، معادله‌ای که مفهوم فیزیکی نداشت. این موقعیّت هر دو را غافل‌گیر کرد، هیچ یک از نظریّه‌های پیشینی که پذیرفته شده بودند چنین معادله‌ای نداشتند. هر دو نفر بر آن شدند که دریابند چرا نسبیّت عام، چنین سیمای شگفتی دارد.

آن دو، نوتر را، که در زمینه‌های مرتبط با ریاضیاتْ تخصّص داشت، به کمک طلبیدند تا در گوتینگن به آن‌ها بپیوندد و در حل معمّا آنان را یاری کند.

نوتر نشان دارد که نمودِ شگفتِ قانون بقا برای ردهٔ خاصی از نظریّه‌ها که به «همورد عام»[۲۴] معروف هستند، ذاتی است. در این نظریّه‌ها، معادلاتِ وابسته به نظریّه، خواه ساکن باشید یا با شتاب سرسام آور حرکت کنید، برقرار اند، زیرا هر دو طرف معادله، هم‌زمان تغییر می‌کنند. نتیجه این بود که، نظریّه‌های همورد عام، از جمله نسبیّت، همواره از این قانون‌های بقای نامتعارف برخوردار اند. این کشف، به قضیّهٔ دوم نوتر معروف است.

این چیزی است که نوتر به بهترین شکل انجام داد: جورسازی مفاهیم خاص در زمینهٔ ریاضی گسترده‌تر آن‌ها. کاترین برادینگ[۲۵]، فیلسوف علوم در دانشگاه دوک[۲۶]، که قضیه‌های نوتر را مطالعه کرده‌است می‌گوید «او دقیقاً قادر بود آن‌چه را که اصیل است در قلب چیزی که رخ می‌دهد، ببیند و آن را تعمیم دهد».

نوتر در راه خود برای اثبات قضیّهٔ دوم، قضیّهٔ اول خود را، در بارهٔ ارتباط بین تقارن‌ها و قانون‌های بقا، ثابت کرد. وی هر دو دست‌آورد را در ۲۳ ژوئیهٔ ۱۹۱۸ در یک خطابه برای انجمن ریاضی گوتینگن ارائه، و در یک مقاله در *اخبار گوتینگن*[۲۷]، چاپ کرد.

یافتن نقل‌قول‌های نوتر که اهمیّت کار او را بازتاب دهند، آسان نیست. وقتی که او کشفی را انجام می‌داد، چنین به نظر می‌رسید که به سوی هدف بعدی در حرکت است. او به رسالهٔ دکترایش، به گویشِ آلمانیِ بومیِ خود، با عنوان «چرند»[۲۸] یا «مُهمل»[۲۹] اشاره می‌کرد(۳). امّا نوتر تصدیق می‌کرد که ریاضیات را تغییر داده است. او در سال ۱۹۳۱ به یکی از همکاران خود نوشت: «روش‌های من، واقعاً روش‌های کارکردن و فکر کردن هستند، زیرا در هر جایی، بدون نام و نشان نفوذ کرده‌اند».

۵. گرم مثل یک قرص نان

نوتر (با نام کاملِ آمالی امی نوتر)[۳۰]، دختر ماکس نوتر[۳۱] ریاضیدان، و آیدا آملیا نوتر[۳۲] ، در سال ۱۸۸۲ زاده شد. رشد او با سه برادرش در ارلانگن آلمان، استعداد ریاضی اِمیِ جوان را آشکار نساخت. با این حال، به عنوان حلاّل معمّاهایی که بچّه‌های دیگر در حل آنها ناکام می‌ماندند معروف بود.

زنان در دانشگاه ارلانگن، جایی که پدرش آموزش دیده بود، به عنوان دانشجویان رسمی، اجازهٔ حضور نداشتند، گرچه می‌توانستند با مجوز استاد به عنوان مستمع آزاد در کلاس درس شرکت کنند. وقتی که در سال ۱۹۰۴ قانون تغییر کرد، امی نوتر به سرعت پیشرفت کرد. او ثبت‌نام کرد و دکترای خود را در سال ۱۹۰۷ گرفت.

نوتر به عنوان یک زن تلاش کرد تا یک جایگاه آکادمیکِ دارای حقوق، حتی پس از فراخوانی به دانشگاه گوتینگن به دست آورد. حامیان او استدلال کردند که موضوع به جنس او ارتباط ندارد. هیلبرت گزارشی طعنه آمیز داد که «بالاخره، ما یک دانشگاه هستیم، نه یک نهاد استحمام». اما این کافی نبود تا او حقوق بگیرد.

هرچند پرداخت گوتینگن به نوتر در ۱۹۲۳ آغاز شد، او هرگز استاد کامل[۳۳] نشد. هرمان وایل [۳۴] ، ریاضیدان برجستهٔ دانشگاه گفت:«از این که چنین جایگاه برتری را کسی جز او اشغال کند شرمنده بودم، چرا که می‌دانستم به عنوان یک ریاضیدان، در بسیاری از زمینه‌ها از من برتر است. نوتر، این ناکامی‌ها را با گام‌های بلند پشت سر گذاشت. او به سبب شخصیّت سرزنده‌اش محبوب بود. وایل، رفتار او را با عبارت «گرم مثل یک قرص نان» توصیف کرده است.

او عادت داشت تا با دانشجویان و همکارانش، ضمن پیاده‌روی‌هایِ طولانی در حومهٔ شهر، به بحث‌های دامنه‌دار با زمینهٔ ریاضی بپردازد. وقتی درد پاها شروع می‌شد، نوتر و همراهانش روی چمن می‌نشستند و گفتگو را ادامه می‌دادند. به نقل از زندگی‌نامه‌ای در سال ۱۹۷۰ از آگوست دیک[۳۵] تاریخ‌نگار ریاضی، با عنوان *امی نوتر ۱۸۸۲–۱۹۳۵*[۳۶]، او گاهی دانشجویان را برای دست‌پختِ خانگی «فرنی نوتر»[۳۷] به آپارتمانش می‌برد و صحبت آنها تا خشکیدن باقیماندهٔ دسر در ظرف‌ها، طول می‌کشید.

[21] David Hilbert [22] Felix Klein [23] SN: 10/17/15, p.16 [24] generally covariant [25] Katherine Brading [26] Duke University [27] Göttinger Nachrichten [28] crap [29] mist [30] Amalie Emmy Noether [31] Max Noether [32] Ida Amalia Noether [33] full-fledged professor [34] Hermann Weyl [35] Auguste Dick [36] Emmy Noether 1882–1935 [37] pudding à la Noether

وقتی که در برین‌ماور استقرار یافت، پژوهش‌های خود را ادامه داد و در یک تغییر روش از دانشجویان سابق خود، که او را «نوتر پسر[۳۸]» می‌نامیدند، در کلاس‌های زنان به آموزش پرداخت. او همچنین در مؤسّسهٔ مطالعات پیشرفته در پرینستون، ان.جی.[۳۹] سخنرانی کرد. مرگ او در سال ۱۹۳۵، در کمتر از دو سال پس از ورودش، جامعهٔ دانشگاهیان را غمگین ساخت.

پاول الکساندروف[۴۰] ، ریاضیدان روسی، نوتر را «یکی از جذّاب‌ترین انسان‌هایی می‌نامد که برای همیشه شناخته است» و از شرایط تأسّف بار اشتغال او شرمسار بود. وی در سال ۱۹۳۵ در نشست انجمن ریاضی مسکو[۴۱] گفت «شرایط شغلی امی نوتر آکنده از سفسطه بود، و برای همیشه نمونه‌ای از رکود و ناتوانیِ تکان دهنده در غلبه بر تعصّب خواهد بود».

۶. شریک‌های گریزان

قضایای نوتر به خصوص با فیزیک ذرّات مرتبط باقی ماندند. دست‌یابی به این‌که در یک دقیقه، در دنیای اسرارآمیز ذرّات بنیادی چه رخ می‌دهد، دشوار است. ویلچک می‌گوید «باید بر بینش نظری و مفاهیم زیبایی و زیباشناسی و تقارن تکیه کنیم تا حدس بزنیم چیزها چگونه باید کار کنند». قضایای نوتر کمک بزرگی هستند.

در فیزیک ذرّات، تقارن‌های وابسته، از انواع پنهان‌اند و به تقارن‌های مقیاس[۴۲] معروف‌اند. یکی از این تقارن‌ها در الکترومغناطیس و نتایج مربوط به بقای بار الکتریکی یافت می‌شود. تقارن مقیاس در تعریف ولتاژ الکتریکی ظاهر می‌شود. ولتاژ - به عنوان مثال - بین دو انتهای یک باتری، نتیجهٔ یک اختلاف پتانسیل الکتریکی است. مقدار واقعی پتانسیل الکتریکی موضوعیّت ندارد، تنها تفاوت مهم است.

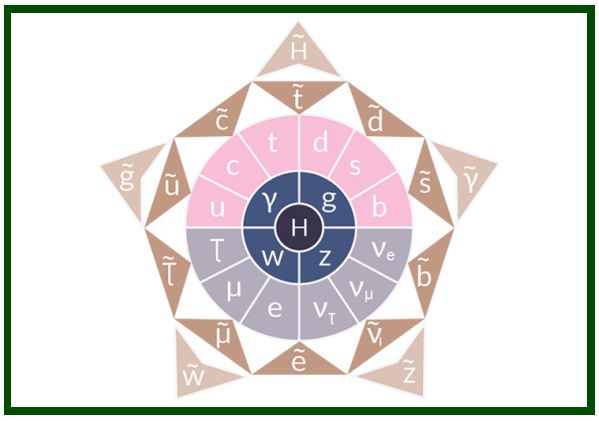
این یک تقارن در پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌کند: مقدار کل آن را می‌توان بدون تأثیر بر ولتاژ تغییر داد. همین ویژگی است که توضیح می‌دهد چرا یک پرنده می‌تواند روی یک خط انتقال نیرو بدون خطر برق‌گرفتگی بنشیند، اما اگر به‌طور همزمان دو سیم با پتانسیل‌های مختلف الکتریکی را لمس کند، غزل خداحافظی را می‌خواند.

در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، فیزیکدانان به منظور یافتن دیگر تقارن‌هایِ پنهانِ وابسته به قوانینِ بقا برای گسترش الگوی معیار فیزیک ذرّات، این انگاره را تعمیم دادند.

ویلچک می‌گوید: «این پیوندِ ادراکی وجود دارد که - هنگامی که درک می‌کنید - یک چکش دارید و در جستجوی میخ‌هایی برای استفاده از آن هستید». آن‌ها، هر جا یک قانون بقا پیدا کردند، فیزیکدانان در جستجوی یک تقارن بودند و بالعکس. الگوی معیاری که ازدیاد ذرّات در یک نقطه و برهم‌کنش آنها را توضیح می‌دهد، و ویلچک جایزهٔ نوبل سال ۲۰۰۴ را به خاطر نقشی که در گسترش آن داشت مشترکاً به‌دست آورد. نظریّه‌ای که، امروزه به خاطر توانایی‌اش در پیش‌گویی نتایج آزمایش‌ها، همواره یکی از موفّق‌ترین نظریّه‌های علمی به شمار می‌آید.

۷. آرایش بنیادی

تقارن‌ها الگوی معیار فیزیک ذرّات را پایه‌ریزی می‌کنند. در این نمایش، ذرّاتِ الگویِ معیار، مانند فوتون‌ها (Y) و الکترون‌ها (e) درون دایره قرار دارند. بر اساس یک نظریّه به نام اَبَرْتقارن[۴۳] (۴) ، ذرّاتِ سنگین‌ترِ فرضیه‌ای، در اطراف لبهٔ بیرونی هستند.



شکل ۷: E. Otwell

در برخوردهندهٔ هادرونی بزرگ،[۴۴] (۵) در سِرْن[۴۵] (۶) واقع در ژنو[۴۶]، فیزیکدانان هنوز در جستجوی ذرّات جدیدی هستند که با استفاده از بینش نوتر پیش‌بینی می‌شوند. تقارن پنهانِ فرضیه‌ای، که به سبب تراز دیگری از تقارن که در فیزیک ذرّات ارائه می‌دهد، ابرتقارن نیز نامیده می‌شود، فرض می‌کند که هر ذرّهٔ شناخته شده دارای یک شریک سنگین‌تر گریزان است.

تا کنون، علی‌رغم امیدهای زیادی که برای تشخیص آنها وجود دارد، چنین ذرّاتی یافت نشده‌اند[۴۷]. برخی از فیزیکدانان می‌پرسند که آیا ابرتقارن درست است؟ شاید تا به حال تقارن توانسته فقط فیزیکدانان را در بر گیرد.

این تصوّر، برخی از فیزیکدانان را در آماده‌باش نگه می‌دارد: جان بائز[۴۸]، متخصص ریاضی‌فیزیک، از دانشگاه کالیفرنیا، ریورساید[۴۹]، می‌پرسد «اگر آن، در همهٔ زمان‌ها آرمان شما نیست - آن تقارنِ بیشتر بهتر است - پس آرمان شما چه خواهد بود؟».

[38]the Noether boys [39]Princeton N.J. [40]Pavel Aleksandrov [41]Moscow [42]gauge [43]supersymmetry [44]Large Hadron Collider [45]CERN [46]Geneva
[47]SN: 10/1/16, p. 12 [48]John Baez [49]University of California, Riverside

۸. هولوگرام‌ها متقارن می‌شوند

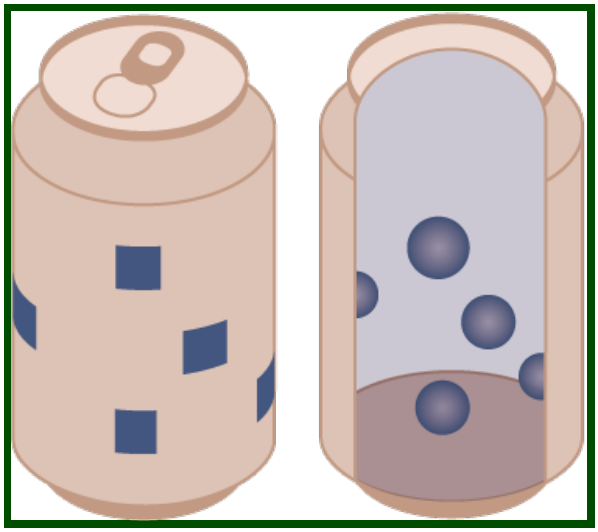
تقارن، علی‌رغم چنین ناامیدی، جلوهٔ خود را در فیزیکِ ابعادِ بزرگ حفظ می‌کند. قضایای نوتر ابزار لازم برای گسترش نظریّهٔ پتانسیلِ گرانشِ کوانتومی هستند، که دو نظریّهٔ ناهم‌خوان را یک‌پارچه می‌سازد: نسبیّت عام و مکانیک کوانتوم. کار نوتر در درک این که چه تقارن‌هایی می‌توانند در چنین نظریّهٔ یک‌پارچه‌ای ظاهر شوند، به دانشمندان کمک می‌کند.

یک گزینه، بر فرض وجود یک ارتباطِ پیش‌فرضْ بین دو نوع نظریّهٔ مکمّل، متکی است: یک نظریّهٔ کوانتومیِ ذرّات روی یک رویهٔ دو بعدیِ بدونِ گرانش، می‌تواند به عنوان یک هولوگرام برای یک نظریّهٔ سه بعدیِ گرانشِ کوانتومی در فضا زمان خمیده عمل کند. به این معنی که اطّلاعات موجود در جهان سه بعدی می‌تواند بر رویهٔ دو بعدیِ پیرامون آن نقش بندد [۵۰].

تصویر، یک قوطی لیموناد را، با برچسب‌هایی که نشانگر اندازه و محل حباب‌های داخل آن است، نشان می‌دهد. برچسب‌ها چگونگی ترکیب و انفجار حباب‌ها را فهرست می‌کنند. یک پژوهشگر کنجکاو می‌تواند از رفتار رویهٔ قوطی برای درک رخدادهای درون آن استفاده کند، برای مثال، آنچه را که ممکن است با تکان دادن آن رخ دهد، برآورد نماید. برای فیزیکدانان، درک یک نظریّهٔ دو بعدیِ ساده‌تر، می‌تواند به آنها در درک یک آشفتگیِ پیچیده‌تر - موسوم به گرانش کوانتومی - که در درونْ رخ می‌دهد، کمک کند. (نظریّهٔ گرانش کوانتومی که این اصل هولوگرافی برای آن برقرار است، نظریّهٔ ریسمان است که در آن، ذرّات با ریسمان‌های جنبان توصیف می‌شوند.)

۹. رویه را بخراش

این نظریّه که چگونه ذرّات در دو بُعد عمل می‌کنند، می‌تواند به عنوان یک هولوگرام برای گرانش کوانتومی در سه بُعد مورد استفاده قرار گیرد. این مانند آن است که بتوانید حباب‌های داخل یک قوطی لیموناد را فقط با خواندن برچسب‌ها مطالعه کنید.



شکل ۸: E. Otwell

دانیل هارلو[۵۱]، متخصص فیزیک نظری ام آی تی می‌گوید: «قضیّهٔ نوتر، بخش بسیار مهمِ این داستان است». تقارن‌های نظریّهٔ کوانتومی دو بُعدی، در زمینهٔ متفاوتی در نظریّهٔ گرانش کوانتومی سه بُعدی حضور می‌یابند. در یک پیچیدگی سازگار، قضیّهٔ اول و دوم نوتر مرتبط می‌شوند. قضیّهٔ اول نوتر در تصویر دو بُعدی، همان بیان قضیّهٔ دوم او را در حالت سه بعدی ارائه می‌دهد، مانند ترجمهٔ دو جمله، یکی به ژاپنی و دیگری به انگلیسی، که هر دو یک چیز را به روش‌های مختلف بیان می‌کنند.

۱۰. نوتر و مسیرهای نو

دانش فیزیک هم‌چنان بر قضایای نوتر متّکی است. قوانین بقا، به تشریح امواج بر سطح اقیانوس و جریان هوا روی بال هواپیما کمک می‌کنند. شبیه‌سازی چنین سیستم‌هایی، دانشمندان را در پیش‌بینی‌های مثلاً مربوط به الگوهای آب و هوایی، ارتعاشات پل‌ها یا آثار انفجار هسته‌ای یاری می‌دهد. قضیهٔ نوتر به طور خودکار در شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، که جهان را با برش‌دادن آن به تکه‌های کوچکی از فضا و زمان ساده می‌کند، اعمال نمی‌شود. بنابراین برنامه‌نویسان باید قوانین بقای انرژی و اندازه حرکت را به صورت دستی اضافه کنند.

الیزابت منسفیلد[۵۲]، ریاضیدانِ دانشگاه کنت[۵۳] در انگلستان می‌گوید «آنها تمام فیزیک را دور می‌ریزند، سپس مجبور می‌شوند تا با تلاش و زور، به نوعی آن را برگردانند». اما منسفیلد راه‌های نوی را برای کاربرد قضیّهٔ نوتر در شبیه‌سازی‌ها یافته است. او و همکارانش، فردی را که در یک استون‌هنج ساده‌شده[۵۴](۷)، بر یک طبل می‌کوبد شبیه‌سازی کرده‌اند، تا محاسبه کنند که - در حالی

[50] SN: 10/17/15, p. 28 [51] Daniel Harlow [52] Elizabeth Mansfield [53] University of Kent [54] simplified Stonehenge

که انرژی به طور خودکار باقی است، امواج صوتی چگونه در اطراف سنگ پیچ و تاب می‌خورند. منسفیلد می‌گوید روش او که وی آن را در مراسم بزرگ‌داشت نوتر در ماه سپتامبر در لندن ارائه خواهد کرد، سرانجام می‌تواند برای خلق شبیه‌سازی‌هایی که به دنیای واقعی بیشتر مانند باشند مورد استفاده قرار گیرد.

علاوه بر اهمیّت نوتر در فیزیک، انگاره‌های او در ریاضیات آن چنان برجسته‌اند که نام او صفتی برای آنها گردیده است. ارجاعات به حلقه‌های نوتری، گروه‌های نوتری و مدول‌های نوتری، در سراسر ادبیات ریاضی اخیر پراکنده‌اند.

گرگوری می‌گوید: کار نوتر «بیدارباشی خطاب به جامعه بوده است که زنان می‌توانند ریاضیات را انجام دهند». سرانجام، جامعه بیدار شد. او در سال ۲۰۱۵ در یک سخنرانی دربارهٔ نوتر در انستیتوی فیزیک نظری پرایمتر[55] در واترلو[56] کانادا[57]، و سپس در مرکز نظریّهٔ ذرات در دانشگاه دورهام، اسلایدی از خود و پنج همکار زن خود نشان داد. در حالی که زنان هنوز در علم با چالش مواجه هستند، لازم نیست کسی در این گروه برای دریافت منافع کارش مبارزه کند. گرگوری می‌گوید «این میراث نوتر است و من صادقانه فکر می‌کنم که او واقعاً سرزنده است». «من فکر می‌کنم که این، اثباتِ حقّانیّت او است».

پی‌نوشت‌های مترجم

(۱) بوزون هیگز یا سازوکار BEH، معروف به ذرّهٔ خدا، یک ذرّه بنیادی اوّلیّهٔ دارای جرم است که وجود آن توسّط الگوی معیار فیزیک ذرّات اثبات شده‌است. مشاهدهٔ تجربیِ این ذرّه باعث شد دانشمندان بتوانند دربارهٔ چگونگی جرم‌دار شدن مادّه، توسّط ذرّات بنیادیِ بدون جرم دیگر، توضیح دهند. به طور خاص، بوزون هیگز، می‌تواند دلایلی برای تفاوت‌های بین فوتون، که بدون جرم است و بوزون‌های W و Z که نسبتاً پرجرم هستند، ارائه کند. جرم ذرّات بنیادی، و تفاوت‌های بین الکترومغناطیس (که توسط فوتون‌ها ایجاد می‌شود) و نیروی هسته‌ای ضعیف (که توسط بوزون‌های W و Z ایجاد می‌شود)، در ساختار میکروسکوپیک (و ماکروسکوپیک) ماده مؤثّر هستند؛ بنابراین، بوزون هیگز یک مؤلفهٔ بسیار مهمِ دنیای مادّه است. در ۴ ژوئیهٔ ۲۰۱۲، سازمان اروپایی پژوهش‌های هسته‌ای(Européenne pour la Recherche Nucléaire) در سمیناری اعلام کرد، که یک بوزون معادل ۱۲۵ گیگا الکترون ولت در دو اسپکترومتر جداگانه، کشف و مشاهده شده است.

(۲) امی نوتر(Amalie Emmy Noether) در خانواده‌ای یهودی در شهر فرانکونیان(Franconian) در ارلانگن(Erlangen) آلمان به دنیا آمد. پدرش ماکس نوتر ریاضیدان بود. او در ابتدا تصمیم به گذراندن دوره‌های لازم برای آموزش زبان انگلیسی و فرانسه داشت، امّا سرانجام در دانشگاه ارلانگن به تحصیلِ ریاضیات روی آورد، جایی که محل آموزش پدرش نیز بود. او پس از اتمام رسالهٔ دکترای خود در سال ۱۹۰۷ زیر نظر پل گردان(Paul Gordan)، برای مدت هفت سال بدون دریافت حقوق در مؤسّسهٔ ریاضی ارلانگن به کار و تدریس پرداخت (در آن سال‌ها، زنان به صورت گسترده‌ای از مشاغل دانشگاهی کنار گذاشته می‌شدند). در سال ۱۹۱۵، دیوید هیلبرت و فلیکس کلاین، امی نوتر را برای پیوستن به مرکز ریاضیات دانشگاه گوتینگن، که مرکز معروفی در تحقیقات ریاضیِ جهان به‌شمار می‌آمد، دعوت کردند. با این حال، به دلیل اعتراض اعضای دانشکدهٔ فلسفهٔ این دانشگاه، نوتر ناچار شد برای مدّت چهار سال، تحت نام همکارش هیلبرت به فعّالیت و تدریس در این دانشگاه ادامه دهد. مدرک علمی او سرانجام در سال ۱۹۱۹ پذیرفته شد و به او اجازهٔ دریافت درجهٔ پریواتدوزنت(privatdozent) را داد، درجه‌ای در آلمان که به شخص اجازهٔ تدریس در دانشگاه و پذیرفتن دانشجوی دکترا را می‌دهد. نوتر تا سال ۱۹۳۳ از اعضای اصلی و مؤثر گروه ریاضی گوتینگن باقی ماند، در حالی که دانشجویان، گاهی او را «نوتر پسر» می‌نامیدند. در سال ۱۹۲۴، ریاضیدان هلندی، بارتل لیندرت وان در واردن(Bartel Leendert van der Waerden) به گروه او پیوست و به زودی به مفسّر و توضیح دهندهٔ اصلیِ انگاره‌های نوتر تبدیل شد، به طوری که انگاره‌های نوتر، پایه و اساسِ جلد دوم کتاب درسیِ تأثیرگذارِ او، جبر جدید (modern algebra) را در سال ۱۹۳۱ فراهم کردند. زمانی که نوتر، سخنرانی عمومی خود را در سال ۱۹۳۲ در کنگرهٔ بین‌المللی ریاضیدانان در زوریخ(Zürich) ارائه کرد، هوش و فراست او در زمینهٔ جبر در میان ریاضیدانان دنیا به رسمیّت شناخته شده بود. امّا سال بعد از آن، به دلیل خلع یهودیان از مشاغل دانشگاهی توسّط دولت نازی آلمان، ناچار به نقل مکان به ایالات متّحده گردید. او پس از این نقل مکان، در کالج برین‌ماور در پنسیلوانیا مشغول به کار شد. نوتر در سال ۱۹۳۵، تحت عمل جرّاحی قرار گرفت و با وجود ظهور نشانه‌هایی از بهبود، چهار روز بعد در سن ۵۳ سالگی

[55] Perimeter Institute [56] Waterloo [57] Canada

درگذشت. مطالعات ریاضیِ نوتر را می‌توان به سه «دورهٔ» اصلی تقسیم کرد. در دورهٔ اول (۱۹۰۸ تا ۱۹۱۹)، تأثیر قابل توجهی بر نظریّه «نامتغیرهای جبری و میدان اعداد» (algebraic invariants and number field) گذاشت. کار او بر روی «ناورداهای دیفرانسیلی در حساب تغییرات» (differential invariants in the calculus of variations) یکی از مهم‌ترین قضایای ریاضی است که تا کنون در هدایت و پیشبرد فیزیک جدید نقش داشته‌است. در دورهٔ دوم (۱۹۲۰ تا ۱۹۲۶)، مطالعاتی را شروع کرد که چهرهٔ جدیدی به جبر مجرد بخشید. در مقالهٔ کلاسیک خود تحت عنوان(theory of ideals in ring domains) نظریّه‌ای را ارائه داد که به ابزاری قدرتمند با کاربردهای بسیار گسترده تبدیل شد. در دورهٔ سوم (۱۹۲۷ تا ۱۹۳۵)، آثار مهمّی در جبر جابجایی و اعداد ابرمختلط (hypercomplex numbers) منتشر کرد و نظریّهٔ گروه‌ها(groups theory) را با نظریّهٔ مدول‌ها و ایده‌آل‌ها (theory of modules and ideals) پیوند داد. نوتر انگاره‌های خود را سخاوتمندانه با دیگران به اشتراک می‌گذاشت. او علاوه بر آن‌چه که خود منتشر ساخته، در آثار ریاضیدانان دیگر، حتی در زمینه‌هایی دور از کار اصلی خود مانند توپولوژی جبری(algebraic topology)، بارها مورد ارجاع قرار گرفته است. پاول الکساندروف، آلبرت اینشتین، ژان دیودونه (Jean Alexandre Eugène Dieudonné)، هرمان وایل، و نوربرت وینر(Norbert Wiener) از او به عنوان مهم‌ترین محقّق زن در ریاضیات یاد کرده‌اند. نوتر در زمینهٔ مباحث فیزیک نیز فرضیه‌ای را ارائه کرد که توانست ارتباط بنیادینی میان تقارن و قانون بقا ایجاد کند. با همهٔ تأثیرات غیرقابل انکار نوتر، او حتی امروزه نیز چهرهٔ ناشناخته‌ای در تاریخ ریاضیات و فیزیک باقی مانده است. در مارس سال ۲۰۱۵ شرکت گوگل برای ایجاد آگاهی عمومی بیشتر در ارتباط با این چهرهٔ تأثیرگذار ریاضیات و فیزیک، روز ۲۳ مارس، سال‌روز تولد او را به عنوان روز امی نوتر در تقویم مربوط به لوگوی خود اعلام کرد.

(۳) نوتر، رسالهٔ دکترای خود را با عنوان (On the formation of the forming system of the ternary bi-quadratic form) در سال ۱۹۰۷ ارائه کرد.

(۴) در فیزیک ذرّات، ابرتقارن، تقارنی است که ذرّات بنیادی با یک اسپین به‌خصوص را به ذرات بنیادی با اسپین $\frac{1}{2}$ متفاوت، که آن‌ها را ابرجفت می‌نامند مرتبط می‌کند. به بیان دیگر، در یک نظریّهٔ ابرمتقارن برای هر نوع بوزون، یک نوع فرمیون متناظر وجود دارد و بالعکس.

(۵) برخورددهندهٔ هادرونی بزرگ، یا به‌طور مختصر ال‌اچ‌سی(LHC)، یک شتاب‌دهندهٔ ذرّه‌ای و برخورددهندهٔ مستقر در سازمان تحقیقاتی سرن در نزدیکی ژنو در سوئیس است. این پروژه در ۱۰ سپتامبر ۲۰۰۸ میلادی (۲۰ شهریور ۱۳۸۷ هجری شمسی) پس از ۲۰ سال آماده‌سازی، آغاز به کار کرد. هدف از ساختن آن، شناخت اجرام مادّه در حدّ فاصل $۱۰^{-۲۳}$ سانتی‌متر، آزمون الگوی معیار ذرّات، کشف اجزای یافت نشدهٔ الگوی معیار، آزمون نظریّهٔ ابرتقارن و نظریّهٔ وحدت بزرگ است. از دیگر اهداف مهمّ این پروژه، کشف ذرّهٔ بنیادی هیگز است که فیزیکدانانِ ذرّاتِ بنیادی، وجود آن را پیش‌بینی کرده‌اند. ذرّهٔ هیگز یا بوزون هیگز، در ایجاد جرمِ ذرّاتِ بنیادی دخیل است. در این آزمایشگاه، پروتون‌ها، در یک تونل ۲۷ کیلومتری شتاب گرفته و به اندازهٔ ۱۴ تریلیون الکترون ولت انرژی می‌گیرند و با هم برخورد می‌کنند تا این برخورد، نشانی از بوزون هیگز را نشان دهد.

(۶) سرن یا سازمان اروپایی پژوهش‌های هسته‌ای(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)، بزرگ‌ترین آزمایشگاه فیزیک ذرّه‌ای جهان است که در سال ۱۹۵۴ در بخش شمال شرقی شهر ژنو در کشور سوئیس در مجاورت مرز فرانسه ایجاد شد.

(۷) استون‌هنج، یادمانی پیشاتاریخی است که در کشور انگلستان و در شهرستان ویلتشایر((Wiltshire) در ۳٫۲ کیلومتری غرب امسبری(Amesbury) و ۱۳ کیلومتری دشت سالزبری(Salisbury) قرار دارد. این یادمان، باقی‌ماندهٔ دوران عصر برنز و دوران نوسنگی است و بر اساس تاریخ‌گذاریِ رادیوکربن، قدمت آن به ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ پیش از میلاد می‌رسد. دشت سالزبری پیش از ساخته‌شدن استون‌هنج هم منطقه‌ای با اهمیت آیینی بوده است. تصویری که امروزه از سازهٔ استون‌هنج وجود دارد مربوط به سه‌سنگ‌های سارسنی برپاشده در استون‌هنج سوم (حدود ۲۲۰۰ پ.م تا ۱۵۰۰ پ.م) است. از این رو سازهٔ استون‌هنج، کم‌وبیش معاصر پایان دوران اهرام در مصر و شهر اور در میان‌رودان است.

مراجع

[1] R. Gregory and P. Olver، *Emmy Noether: Her life, work, and influence.* Convergence, Perimeter Institute for Theoretical Physics, Waterloo, Canada, June 22, 2015.

[2] Y. Kosmann-Schwarzbach, *The Noether Theorems: Invariance and Conservation Laws in the Twentieth Century.* Translated by Bertram E. Schwarzbach, Springer, 2011.

[3] K. Brading, *A Note on General Relativity, Energy Conservation, and Noether's Theorems.* In: The Universe of General Relativity, Birkhäuser, 2005.

[4] K. A. Brading, *Which symmetry? Noether, Weyl, and conservation of electric charge.* Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics. Vol. 33, March 1 2002, p. 3. doi: 10.1016/S1355-2198(01)00033-8.

[5] N. Byers., *The Life and Times of Emmy Noether: Contributions of E. Noether to particle physics.* arXiv:hep-th/9411110. Posted November 15, 1994.

[6] N. Byers., *E. Noether's Discovery of the Deep Connection Between Symmetries and Conservation Laws.* arXiv:physics/9807044 Posted July 23, 1998.

[7] A. Dick., *Emmy Noether 1882-1935.* Translated by H.I. Blocher, Birkhäuser, 1981.

[8] K. Brading and H. R. Brown. *Noether's Theorems and Gauge Symmetries.* arXiv:hep-th/0009058. Posted September 8, 2000.

برای خواندن بیشتر

[1] E. Conover. *Supersymmetry's absence at LHC puzzles physicists.* Science News, Vol. 190, October 1, 2016, p. 12.

[2] A. Grant. *Entanglement: Gravity's long-distance connection.* Science News, Vol. 188, October 17, 2015, p. 28.

[3] T. Siegfried. *Einstein's genius changed science's perception of gravity.* Science News, Vol. 188, October 17, 2015, p. 16.

[4] T. Siegfried. *It's too soon to declare supersymmetry a tragedy.* Science News Online, October 17, 2013.

[5] T. Siegfried. *To build a clock that ticks forever, you need a spacetime crystal blueprint.* Science News Online, October 22, 2012.

[6] A. Witze. *Higgs found.* Science News, Vol. 182, July 28, 2012, p. 5.

[7] J. Rehmeyer. *Forms of Symmetry.* Science News Online, April 12, 2007.

[8] J. Rehmeyer. *Insights into symmetry.* Science News Online, May 4, 2008.

[9] A. Dick. *Emmy Noether 1882–1935.* Birkhäuser, 1970.

* دانشگاه تفرش