



تقارن و این جهان زیبا

تقارن

و این جهان زیبا

لئون لدرمن (برنده جایزه نوبل)

و

کریستوفر تی. هیل

ترجمه‌ی جمیل آدیابی

زئاملات ماریار

سرشناسه	: لدرمن، لئون، Lederman, Leon M.
عنوان و نام پدیدآور	: تقارن و این جهان زیبا/ لئون لدرمن، کریستوفر تی. هیل؛ ترجمه‌ی جمیل آریایی.
مشخصات نشر	: تهران: مازیار، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۴۰۰ ص. مصور، نمودار؛ ۲۱/۵ × ۱۴/۵ س.م.
فروست	: قلمرو علم
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۲۱-۵
وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا	
یادداشت	: عنوان اصلی: Symmetry and the beautiful universe, 2004.
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: تقارن -- به زبان ساده
موضوع	: Symmetry -- Popular works
شناسه افزوده	: هیل، کریستوفر تی.، ۱۹۵۱-م.
شناسه افزوده	: Hill, Christopher T., 1951-
شناسه افزوده	: آریایی، جمیل، ۱۳۳۰ -، مترجم
رده‌بندی کنگره	: Q۱۷۲/۵
رده‌بندی دیویی	: ۵۰۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۵۳۷۸۱۹

www.mazyarpub.ir
mazyarpub@yahoo.com

انتشارات مازیار

ثبت علامت تجاری: ۳۵۳۴۲۴

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱

تقارن و این جهان زیبا

لئون لدرمن (برنده جایزه نوبل) - کریستوفر تی. هیل

ترجمه‌ی جمیل آریایی

صفحه‌آرایی مروا ک.

چاپ اول ۱۴۰۱

شمارگان ۱۲۰۰

چاپ و صحافی طیف‌نگار

شابک ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۲۱-۵

مواد اولیه این کتاب به صورت آزاد تهیه شده است.

فهرست مطالب

مقدمه: تقارن چیست؟	۹
تقارن در موسیقی	۱۱
زمین گرد است	۱۴
تقارن در ریاضیات و فیزیک	۱۷
در ثنای امی نوتر	۲۱
۱. فرزندان تایتان‌ها	۲۵
تحول جهان هستی و استعاره‌های آن	۲۵
تایتان‌ها	۲۷
مرگ خدایان: شامگاهان تایتان‌ها	۳۴
زمین	۳۷
اُکلو	۴۱
ثبات قوانین فیزیک	۴۳
۲. زمان و انرژی	۴۷
نمی‌تواند اینجا رخ دهد	۴۷
انرژی چیست؟	۵۷
پیدایش بحران انرژی	۶۶
۳. امی نوتر	۷۴
ریاضیات و فیزیک	۷۶
زندگانی و روزگاران امی نوتر	۷۸
تقارن و فیزیک	۸۸
۴. تقارن، فضا، و زمان	۹۰
آزمایشگاه فکری (گدنکن لب)	۹۱
انتقال در فضا	۹۳
انتقال در زمان	۹۶
دوران	۹۸

- تقارن حرکت ۱۰۲
- «فراگیر» در مقایسه با «موضعی» ۱۰۵
- ۵. قضیه‌ی نوتر** ۱۱۱
- قوانین پایستگی در فیزیک پایه ۱۱۱
- پایستگی تکانه ۱۱۲
- پایستگی انرژی ۱۲۰
- پایستگی تکانه‌ی زاویه‌ای ۱۲۷
- ۶. لختی** ۱۳۷
- تاریخچه‌ی لختی، تقارن، و منظومه‌ی شمسی ما ۱۴۰
- متوجه لختی شدن ۱۵۰
- اتحاد تقارن، لختی، و قوانین فیزیک ۱۵۲
- قوانین حرکت نیوتون ۱۵۴
- شتاب ۱۵۵
- گرانش ۱۵۹
- ۷. نسبیت** ۱۶۹
- سرعت نور ۱۶۹
- سرعت نور از دیدگاه ناظرین در حال حرکت ۱۷۵
- اصل نسبیت ۱۷۹
- سرنگونی نسبیت گالیله ۱۸۱
- نسبیت اینشتین ۱۸۳
- اثرهای عجیب و غریب نسبیت خاص ۱۸۷
- انرژی و تکانه در نسبیت خاص ۱۹۱
- نسبیت عام ۱۹۵
- ۸. بازتاب‌ها** ۲۰۴
- تقارن بازتاب ۲۰۵
- تقارن پاریته و قوانین فیزیک ۲۱۱
- سرنگونی تقارن پاریته ۲۱۵
- تقارن وارونی زمان ۲۲۱

- ناوردایی وارونی زمانی و پادماده ۲۲۵
- ترکیب سه تقارن باهم: تقارن CPT ۲۲۹
- ۹. تقارن شکسته** ۲۳۳
- مدادی بر روی نوک‌کاش ۲۳۴
- آهنرباها ۲۳۶
- شکست خودبه‌خودی تقارن در طبیعت ۲۴۳
- تورم کیهانی ۲۴۷
- ۱۰. مکانیک کوانتومی** ۲۵۱
- نور ذره است یا موج؟ ۲۵۳
- نظریه‌ی کوانتومی بیش از هر زمان دیگر دور از ذهن به نظر می‌رسد ۲۶۰
- اصل عدم قطعیت ۲۶۳
- تابع موج ۲۶۷
- حالت‌های مقید ۲۷۲
- اسپین و تکانه‌ی زاویه‌ای مداری در مکانیک کوانتومی ۲۷۷
- تقارن ذرات یکسان ۲۷۹
- تقارن تعویض، پایداری ماده و همه‌ی شیمی ۲۸۵
- ملاقات نظریه‌ی کوانتومی با نسبیت خاص: پادماده ۲۸۷
- ۱۱. تقارن پنهان نور** ۲۹۷
- سرنخ‌هایی از نوعی تقارن ۲۹۹
- ناوردایی پیمانه‌ای محلی ۳۰۱
- فرآیند کوانتومی تابش: الکترودینامیک کوانتومی (QED) ۳۰۷
- نمودارهای فاینمن ۳۰۸
- پیش به سوی وحدت همه‌ی نیروهای طبیعت ۳۱۶
- ۱۲. کوارک‌ها و لپتون‌ها** ۳۲۰
- درون اتم اواسط قرن بیستم ۳۲۱
- کوارک‌ها ۳۲۵
- مدل استاندارد ذرات و نیروها ۳۲۶

نیروی قوی نوعی تقارن پیمانهای است	۳۳۳
نیروی ضعیف	۳۴۲
میدان هیگز را وارد کن	۳۴۶
فراسوی بوزون هیگز: اَبَر تقارن؟	۳۴۹
ملاحظات فلسفی	۳۵۴
سخن پایانی با مدرسان	۳۵۸
پیوست	۳۶۳
گروه‌های تقارن	۳۶۳
ریاضیات تقارن	۳۶۳
مسئله‌ی ساده‌ای از ورقه‌ی امتحان ورودی شرمین	۳۷۶
گروه‌های تقارنی پیوسته	۳۸۱
یادداشت‌ها	۳۸۷
حس شگفتی	۳۸۹
نمایه	۳۹۵
در تحسین کتاب	۳۹۹

مقدمه

تقارن چیست؟

تقارن همه‌جایی است. تقارن در الگوهایی که طبیعت طراحی کرده است، نمودهای گوناگونی دارد. تقارن عنصری کلیدی و اغلب مضمون تعریف‌کننده‌ای در هنر، موسیقی، رقص، شعر، یا معماری است. تقارن در همه‌ی علوم رخنه کرده است و جایگاه والایی در شیمی، زیست‌شناسی، فیزیولوژی، و اخترشناسی دارد. تقارن بر دنیای درونی ساختار ماده، دنیای بیرونی کیهان، و دنیای انتزاعی خود ریاضیات حکمرانی می‌کند. قوانین اساسی فیزیک که بنیادی‌ترین احکامی هستند که می‌توانیم درباره‌ی طبیعت صادر کنیم، بر شانه‌های تقارن بنا شده‌اند. نخستین رویارویی ما با تقارن‌ها در دوران کودکی است. آن‌ها را می‌بینیم، آن‌ها را می‌شنویم، و لحظات و رویدادهایی را تجربه می‌کنیم که رابطه‌ی تقارنی تنگاتنگ و ویژه‌ای با هم دارند. تقارن خوش ترکیب گلبرگ‌ها، صدف‌های براق، تخم‌مرغ‌ها، شاخه‌های باشکوه درختان و رگبرگ‌ها، دانه‌های برف، یا خط افق ساحل را می‌بینیم که آسمان را از دریا جدا می‌کند. قرص‌های متقارن ایده‌آل ماه و خورشید را می‌بینیم و در طول روز و شب حرکت‌شان روی دوایر کم و بیش متقارن را به نظاره می‌نشینیم. تقارن‌های ضرب‌آهنگ یا رشته‌تُن‌های ساده را در ترانه‌ها یا آواز پرندگان می‌شنویم. شاهد تقارن زمانی چرخه‌ی حیات ارگانسیم‌ها و نیز تقارن فصول هستیم که سال از پی سال به طور منظم رخ می‌دهند.

هزاران سال است که انسان‌ها به طور غریزی تقارن را با کمال‌گرایی یکی می‌گیرند. معماران باستانی تقارن را در طراحی‌ها و سازه‌های‌شان دخالت می‌داده‌اند. خواه معبد باستان یونانی یا آرامگاه هندسی فراعنه باشد، خواه نوعی کلیسای قرون وسطایی، هر یک بازتابی از منزلگاهی است که آن را «خدا»یی برای سکونت‌اش انتخاب کرده است. شعر کلاسیک — که در شاهکارهایی چون ایلیاد، اُدیسه، و آناهید تجلّی یافته است — از ضرب‌آهنگ‌های تغزلی متقارن کمک می‌گیرد تا الهگان یا اساطیر حکایت‌ها و ترانه‌ها را بستايد.

فوغ‌های ارگان بزرگ باخ که در سقف کلیساهای بزرگ طنین‌انداز می‌شود، به نظر می‌رسد که با نوعی تقارن ریاضیاتی جریان دارد، انگار که از طاق‌های آسمان نازل شده است. تقارن، مثل غروب در افق آرام اقیانوس، به انسان حس و حال می‌دهد. تقارن‌هایی را که در دنیای پیرامون‌مان حس می‌کنیم و می‌بینیم، از هستی نوعی نظم و هماهنگی بی‌کم‌وکاست خبر می‌دهند که زیربنای همه‌ی پدیده‌های جهان هستی است. ما از طریق تقارن نوعی منطق ظاهری را حس می‌کنیم که در جهان هستی به کار است و در عین حال که خارج از ذهن ماست، لیکن با آن هماهنگی دارد.

از دانشجویان که می‌خواهیم تقارن را تعریف کنند، پاسخ‌هایی که می‌دهند کم و بیش همه درست هستند:

- اضلاع مثلث‌های متساوی‌الاضلاع متقارن هستند. تساوی زوایای این مثلث‌ها نیز حکایت از تقارن میان آن‌ها دارد.
- اشیایی که نسبت‌های یکسانی با هم دارند، متقارن هستند.
- اشیایی که از هر جهت به آن‌ها نگاه کنیم یکسان به نظر برسند، متقارن هستند.
- بخش‌های مختلف هر جسم که یکسان دیده شوند متقارن هستند، مثل گوش‌ها و چشم‌ها در چهره.

این‌ها بیشتر برداشت‌های بصری ما از تقارن هستند. با وجود این، می‌بینیم که نوعی ایده‌ی انتزاعی‌تری در آن‌ها هست: می‌بینیم که «همانی» از اجزای اصلی همه‌ی آن‌هاست. در واقع، تعریف کلی واژه‌ی تقارن می‌تواند چنین باشد:

تقارن (اسم). بیان هم‌ارزی میان اشیاء.

تقارن در کل شامل یکی از بنیادی‌ترین مفاهیم ریاضیاتی، یعنی هم‌ارزی، است. در ریاضیات وقتی که می‌گوییم دو شیئی هم‌ارز هستند، منظورمان این است آن‌ها با هم برابرند و از نماد = استفاده می‌کنیم. بنابراین تقارن بیان برابری میان اشیاء است. این اشیاء می‌توانند اجسام متفاوت یا اجزای متفاوت شیئی یکسانی باشند. هم‌چنین این اشیاء، قبل و بعد از این که کاری روی آن‌ها انجام دادیم، می‌توانند در ظاهر شیئی واحدی باشند.

سامانه‌ی فیزیکی می‌تواند هر ذره‌ی ساده‌ای باشد، مثل اتم، یا مجموعه‌ی

پیچیده‌ای از ذرات باشد، مثل مولکول، سنگ، یک فرد، یک سیاره، کل جهان هستی، که بر طبق قوانین فیزیک حرکت یا رفتار می‌کند. در واقع، هر شیئی که از پشت عینک فیزیک به آن نگاه کنیم، نوعی سامانه‌ی فیزیکی است. وقتی که می‌گوییم سامانه‌ای دارای تقارن است، منظورمان این است که این سامانه را می‌توان چنان تغییر داد که شکل پس از تغییرش، با شکل قبل از تغییرش هیچ فرقی نداشته باشد. تغییری را که در سامانه‌ای به وجود می‌آوریم، در واقع داریم روی سامانه نوعی عمل تقارنی یا تبدیل تقارنی انجام می‌دهیم. اگر سامانه‌ای آنگاه که تبدیل تقارنی روی آن انجام می‌دهیم یکسان بماند، می‌گوییم که این سامانه تحت این تبدیل ناورداست.

بنابراین دانشمند تقارن را این‌گونه تعریف خواهد کرد: تقارن ناوردایی هر شیئی یا سامانه‌ای در برابر نوعی تبدیل است. ناوردایی عبارت است از همانی یا ثبات سامانه به لحاظ شکل، ظاهر، ترکیب، چیدمان، و غیره، و تبدیل عبارت است از نوعی عمل انتزاعی که بر سامانه اعمال می‌کنیم تا آن را از حالتی به حالت دیگر هم‌ارز ببریم. معمولاً تعداد بی‌شمار تبدیل است که می‌توانیم آن‌ها را بر سامانه‌ی مفروضی اعمال کنیم تا آن را از حالتی به حالت هم‌ارز دیگرش ببریم.

مثال ساده، تقارن هندسی گلدان چینی است، قبل از این که روی آن را با شیشه تزئین کنند. اگر این گلدان را روی میز بگذاریم و آن را به اندازه‌ی زاویه‌ی دلخواهی (مثلاً... ۳۷/۷۴۲ درجه) دوران دهیم، در ظاهر یا ترکیب فیزیکی گلدان تغییری به وجود نمی‌آید — عکس‌های «قبل» و «بعد» گلدان یکسان به نظر می‌رسند. گلدان تحت دوران حول خط فرضی که از مرکزش می‌گذرد و ما آن را محور تقارن می‌نامیم، ناورداست. پیام ساده‌ی این مثال این است که تعریف ریاضیاتی ما از تقارن با تجربه‌ی ادراکی و نیز احساسی ما از تقارن مقارن است، یعنی تقارن زیبایی نهفته در فرم و شکل گلدان را نمایان می‌سازد.

تقارن در موسیقی

حال می‌خواهیم در رابطه با چیزی آشنا که بصری نیست، به موضوع تقارن بپردازیم. گفتیم که تقارن همه‌جایی است و در هنر نیز ریشه دوانده است، آن

هم در یکی از بزرگترین گونه‌های هنری، یعنی موسیقی.

موسیقی غربی در عصر یوهان سباستیان باخ داشت گامی فراتر از سبک‌های باروکی آغازین برمی‌داشت که طرح‌شان در مقام مقایسه ساده‌تر و از دوران روشننگری به ارث رسیده بود. موسیقی وارد روزگاران تازه‌ای، به نام آفکت، می‌شد که محتوای احساسی، عاطفی، و حال و هوایی آن بیشتر بود. افزون بر آن، فرم، ساختار، یا معماری موسیقی دستخوش دگرگونی انقلابی می‌گشت.

باخ که در سال ۱۷۰۰ پسر بچه‌ای پانزده ساله بود، برای تحصیل در مدرسه‌ی سنت میشل شهر لنینبورگ، در حدود چهار و هشت کیلومتری شهر شمالی هامبورگ آلمان امروزی، کمک هزینه‌ی تحصیلی دریافت کرد.^{۱۱} کمک هزینه‌ی تحصیلی او شامل شهریه، خوابگاه و غذاخوری، و مستمّر‌اش از خدماتی می‌شد چون سرودخوانی در کلیسا، مراسم روزهای یکشنبه، عروسی‌ها، سوگواری‌ها، و فعالیت‌های جمعی مختلف. او خواننده‌ی سوپرانو بود، لیکن چند سال بعد که صدای‌اش تغییر کرد کمک هزینه‌ی تحصیلی او نیز، همراه با دوران دانشجویی‌اش، قطع شد.

شهر لنینبورگ برای هر جوانی که دانشجوی رشته‌ی موسیقی بود، دنیایی از هیجان و تنوع موسیقایی و روشنفکری را فراهم می‌کرد. در اینجا بود که باخ برای نخستین بار با سبک «تقارن» کمپوزیسیون آشنا می‌شد که قبلاً در ساختار موسیقی آهنگ‌سازان فرانسوی آن عصر، چون فرانسوا کوپرین، دیده شده بود. این آهنگ‌سازان موسیقی را انسانی‌تر، صمیمی‌تر، ظریف‌تر، و مبهم‌تر می‌کردند تا به فعالیت‌های روزمره‌ی انسان‌ها، از جمله رقص‌های گردهم‌آیی‌های عاشقانه — به لحاظ ساختار و فرم — جلوه‌ی بیشتری بدهند. اینک موسیقی نیز مثل رقص، تقارن بیشتری می‌یافت.^{۱۲}

ضربه‌های منظم و ساده به طبل، ریتم‌های تکراری دارند که همان تقارن زمانی است. ریتم طبل ضرب‌ها در بازه‌های زمانی برابر، تکرار می‌شود. طبق تعریف ما از تقارن، برابری بازه‌ی میان طبل‌ضرب‌ها ناورداست و گذر زمان همان عمل تقارنی یا تبدیل است. مثال دیگر، تقارن فیزیولوژیکی ضربان قلب است. بنابراین، آریتمی نوعی ناتقارن است. صدای ضربان قلب، ریتم حیات را نمایش می‌دهد. موسیقی از ریتم طبل متحول شده است.

کمپوزیسیون آغازین نوعاً تمی خواهد داشت که آن را X می‌نامیم که پی در پی نواخته می‌شود و در کلید مفروضی خود را تکرار می‌کند. تم معروف و محبوب پاچلبل کانن در ر ماژور را در نظر بگیرید. یوهان پاچلبل درست یک ربع قرن پیش از باخ به دنیا آمد و در بسط واژگان موسیقایی قرن هجدهم دست داشت. تم پاچلبل کانن در ر ماژور، تقارن موسیقی باروک اولیه را به نمایش می‌گذارد. این کانن شکل تمی متشکل از آکورد پیش‌رونده‌ی D-A-Bm-F#m-G-D-G-A را در تمپوی کم و بیش ساعت‌گونه پیوسته‌ای می‌گیرد و با خروج، ورود، و هماهنگ‌شدگی صداها، خود را بارها و بارها با تغییرات هوشمندانه و آرایش‌های گوش‌نوازی تکرار می‌کند.

البته این فرم مشکلی ندارد، چون آهنگ‌سازان مدرن هم چنان از آن استفاده می‌کنند تا حس جنبش گذرا را القا کنند، از جمله بولو، قطعه‌ی ارکستال از راول در قرن بیستم، قطعه‌ای که حس تداوم رویدادهای پیش‌رونده‌ای در انسان القا می‌کند که صحنه را برای اوج نهایی مهیا می‌سازد. لیکن در روزگاران باخ، موسیقی داشت به الگوی تقارنی پیچیده‌تری تکامل می‌یافت که نخستین فرم موسیقایی مرکب را نمایش می‌داد.^{۱۳} چنین کمپوزیسیون‌هایی ساختارهایی به نام موومان داشتند که رقص‌ها را تقلید می‌کردند که خود تقلیدی از اعمالی بودند که در طبیعت دیده می‌شدند. نام این موومان‌ها را از رقص‌های محبوب آن زمان گرفته بودند که الماند، کورانت، ساراباند، گیگو، و آندفوگو نام داشتند. بر این موومان‌ها در هر کمپوزیسیون قواعد دقیقی حاکم بود که الگوی تقارنی آن‌ها را تعریف می‌کردند.

حالا موومان اول، X، تم اصلی بود که در کلید تعریف‌کننده، یا تونیک، کمپوزیسیون نوشته می‌شد و به کلید غالب تغییر می‌کرد (برای مثال، کلید تونیک ماژور C به G تغییر می‌یافت). این موومان با موومان دوم، Y، دنبال می‌شد که ادامه‌ی همان تم در کلید غالب بود که به کلید تونیک تغییر می‌کرد (کلید ماژور G در مثال ما به کلید ماژور C تغییر می‌یافت). این ساختار XY، یا فرم دودویی، از طریق کمپوزیسیون‌های مختلف، از جمله XXYY که فرم دودویی تکراری نام داشت، به الگوهای دیگر بسط داده می‌شد. فرم‌های بعدی، از جمله فاوند، برای مثال در سونات‌های پیانویی بتهوون — معروف

به سبک الگرو-سونات وینی — تعمیم این الگوی تقارنی بنیادی هستند که در آن‌ها امکان دارد Y با X در کلیدی غیر از کلید غالب، شاید کلید مینور نسبی بازگو شود (برای مثال، اگر X در کلید تونیک ماژور C بیان شده باشد، آنگاه Y بازگویی X در مینور A است)، Y معمولاً شاید تغییرات مضمونی در X باشد. باخ مجذوب این مفاهیم تازه شد، لیکن او موسیقی را با تقارن به مراتب بیشتری از این الگوهای طرح‌وار صرف آمیخت. بسیاری از موومان‌های کمپوزیسیون‌های باخ زیربخش‌های متقارنی به نام عبارت و نیم‌عبارت دارند، با الگوهای مشابهی که بازتاب و تقلیدی از طرح تقارن ساختاری قطعه هستند. کمپوزیسیون‌های باخ مشخصه‌ی بارز دیگری هم به نام تکنیک پس و پیش دارند (که قبلاً به آن اشاره کردیم) که در آن بخش‌های X و Y تم‌های یکسانی را به کار می‌برند که در آن‌ها ترتیب تُن‌ها وارونه شده‌اند. تک تک خود عبارت‌های موسیقایی تشکیل زیرمجموعه‌های متقارن از ترکیب بزرگتر را تشکیل می‌دهند. کمپوزیسیون کلّ سلسله مراتبی از این مؤلفه‌های متقارن می‌شود که در آن‌ها تنوعی از مقیاس‌های زمانی و فضایی مختلف وجود دارد. شنوندگان اغلب با یک بار گوش کردن به کمپوزیسیون باخ، آن را درک نمی‌کنند و باید حوصله به خرج دهند و چند بار به آن‌ها گوش کنند تا به دنیای درونی این کمپوزیسیون‌های باشکوه پی ببرند که در آن‌ها این ساختار سلسله مراتبی پیچیده بال درمی‌آورد و پرواز می‌کند. همین‌که کم‌کم این کمپوزیسیون‌ها را درک کنیم، احساس می‌کنیم که گویی جهان تازه و پیچیده‌ای را تجربه می‌کنیم که در آن الگوها یکی در پی دیگری رخ می‌نمایند، جهانی که با اصول زیربنایی منطق و تقارن تعریف می‌شود. موسیقی آلاتی را که با آن‌ها نواخته می‌شود، به عرش علاء می‌برد. باخ به همان اندازه که روی چنگ یا لوله‌ی ارگان عظیم گوش‌نواز است، روی کازو یا صوت‌ساز الکترونیکی نیز خوش‌آهنگ است. در نهایت ساختار موسیقی با ساختارهای تقارنی ژرف و آفکت روی هم‌رفته‌ای که تولید می‌کند، تعریف می‌شود نه با آلات موسیقی.

زمین گرد است

تقارن به خلاقیت ما پر و بال می‌دهد. تقارن اصولی را در اختیار ما می‌گذارد که با آن‌ها، به انگیزه‌ها و تفکرات هنری‌مان شکل می‌دهیم، و تقارن چشمه‌ی

فرضیه‌هایی است برای درک دنیای فیزیکی. اینک مثال باشکوه دیگری می‌زنیم و آن کشف گرد بودن زمین است. برای این کشف لازم نبود منتظر هزاره دوم سفرهای مازلان یا کولمب و نخستین جهانگردی با کشتی شخصی به دور زمین باشیم. مازلان «آزمایش تأییده‌کننده» برای اثبات کرویت زمین را انجام داد (وی از این سفر جان سالم به در نبرد و تلاش‌اش برای مسیحی کردن فیلیپینی‌ها با شکست مواجه شد^[۱۲]). در عوض، ریاضیدانان یونانی از قبل می‌دانستند که زمین، مثل ماه و خورشید، کروی است و قطر آن را اندازه‌گیری کرده بودند.^۱ یونانیان پی برده بودند که گاهی زمین بر اثر پدیده‌ای که ماه‌گرفتگی نام دارد، مانع رسیدن نور خورشید به ماه می‌شود. آنان با مشاهده‌ی سایه‌ای که زمین به هنگام ماه‌گرفتگی روی ماه می‌انداخت، می‌توانستند ببینند که زمین نیز مثل ماه و خورشید، کروی است.

اراتوستنس، متفکر یونانی و رئیس کتابخانه‌ی باستانی معروف اسکندریه در مصر که در حدود ۲۴۰ سال قبل از میلاد می‌زیسته، می‌دانست که در شهر سیرن، واقع در منتهی‌الیه جنوب مصر، چاه آب عمیقی وجود دارد. در روز تحویل تابستانی که بلندترین روز سال است، یعنی روز ۳۱ خرداد، می‌شد دید که برای لحظاتی چند، درست در هنگامه‌ی ظهر، تصویر کامل قرص خورشید در شهر سیرن روی سطح آب این چاه عمیق می‌افتد. بنابراین، خورشید در ظهر آن روز دقیقاً از بالای سر سیرن می‌گذرد. با وجود این، وی متوجه شد که در همان روز خورشید مستقیماً از بالا شهر خودش اسکندریه نمی‌گذرد که در ۸۰۰ کیلومتری شمال سیرن واقع شده است. در عوض، خورشید از سمت الرأس، نقطه بالای سر در آسمان، در حدود هفت درجه فاصله داشت. اراتوستنس نتیجه گرفت که جهت سمت‌الرأس به اندازه‌ی هفت درجه در اسکندریه با جهت آن در سیرن فرق دارد. وی با استفاده از قواعد هندسه‌ی مقدماتی توانست قطر زمین را ۱۲،۸۰۰ کیلومتر تعیین کند.^[۱۵]

امروزه می‌دانیم که قطر واقعی زمین تا اندازه‌ای به این بستگی دارد که در

۱. خوانندگانی که به تاریخ علم در یونان باستان و ایران و اروپای امروز علاقه‌مندند، می‌توانند به کتاب، تاریخ علم: تبیین جهان هستی، استیون واینبرگ، ترجمه‌ی جمیل آریایی، انتشارات مازیار، چاپ دوم، ۱۳۹۹، رجوع کنند. م.

چه نقطه‌ای از سطح زمین بخواهیم آن را اندازه‌گیری کنیم، چون زمین شلغمی است، یعنی در استوا پهن‌تر از قطب‌هاست و نیز کوه‌ها، جزر و مد، و از این قبیل چیزها دارد که ایجاب می‌کند تنها «مقدار میانگین» آن را اعلام کنیم. قطر میانگین زمین در استوا در حدود ۱۲,۷۶۰ کیلومتر و در قطب‌ها در حدود ۱۲,۷۲۰ کیلومتر است. بنابراین، اراتوستنس که فرض کرده بود زمین کروی است، توانسته بود با دقت علمی چشمگیر ۱ درصد در آن روزگاران، قطر زمین را اندازه‌گیری کند.

لیکن آن‌گونه که گفتیم زمین کره‌ی متقارن کاملی نیست که در حد هندسی انتزاعی ایده‌آل چنین فرض می‌شود. تقارن کره تنها تقریبی برای شکل هر سیاره است، چون شکل واقعی سیارات با فرآیندهای دینامیکی ماده‌ای که گرد هم می‌آید و بر اثر گرانش جسم بزرگ جامدی را می‌سازد، تعیین می‌شود. برای مثال، درست نیست که نتیجه بگیریم دستی از بیرون آمده و زمین را کروی خلق کرده است و از این رو آن را به نظام باور آئینی به «کره‌ی کامل» نسبت دهیم. تقارن می‌تواند ابزار قدرتمندی باشد، گیرم که تنها تقریبی از واقعیت بیش نیست. با وجود این، ما گونه‌های انسانی اغلب به اشتباه فرض کرده‌ایم که بعضی از چیزها متقارن هستند یا تقارن کامل دارند، در حالی که تقارن‌ها در واقع نتایج تصادفی چیز دیگری بوده‌اند. این همان خطای نظریه‌ی بطلمیوسی منظومه شمسی زمین مرکزی بوده است که هزار و پانصد سال دست در دست آئین مسیحیت داده است. تقارن کامل دایره و کره را به ماوراءطبیعه نسبت می‌دادند که می‌بایست باشد و در حرکت‌های مداری سیارات، خورشید، ماه، و ستارگان به گرد زمین ثابت در مرکز تجلی یابد.

درست است که در حرکت‌های سیارات تقارن‌هایی هست — لیکن تقارن‌های راستین پنهان‌اند و ژرف‌تر از آنند که در تصور مردم آن روزگاران بگنجند. یوهانس کپلر خردورزی و پشتکار آن را داشت تا اصول درست حرکت سیارات به گرد خورشید را توصیف کند. متأسفانه این اصول ناقص بودند و با آن باورمندی به تقارن کروی و هندسه فرسنگ‌ها فاصله داشتند. مع‌الوصف، این اصول بودند که جاده را برای بزرگترین فعالیت‌های فکری در تاریخ آدمی، از گالیه تا نیوتون تا اینشتین، هموار کردند و دست‌آخر از ژرف‌ترین و بنیادی‌ترین تقارن‌های طبیعت پرده برداشتند.

تقارن در ریاضیات و فیزیک

ریاضیدان‌ها روش نظام‌مندی برای مطالعه‌ی تقارن‌ها ابداع کرده‌اند که یادگیری آن در آغاز ساده و بازی با آن سرگرم‌کننده است. این موضوع کم و بیش جادویی، به نظریه‌ی گروه شهرت دارد. نظریه‌ی گروه با مطالعات ریاضیدان قرن نوزدهم فرانسوی، اواریست گالوا، آغاز شد و او که زندگانی غم‌انگیز کوتاهی داشت، این شاخه از ریاضیات را بنیاد نهاد.

گالوا یکی از تندروهای سیاسی بود و رابطه‌ی عاشقانه‌ی پرشوری با بانوی زیبایی برقرار کرد که از پیش نامزد مردی به نام پشو دهرینویل بود. دهرینویل تیرانداز نام‌آوری بود که به این رابطه پی برد و گالوا را به دوئل با تپانچه فراخواند.^{۱۶} شب قبل از دوئل، گالوا که از آوازه‌ی رقیب‌اش اطلاع داشت، دیوانه‌وار خلاصه‌ای از تحلیل‌های ریاضیاتی‌اش درباره‌ی معادلات جبری درجه بالا (که بیشتر از درجه‌ی پنج بودند) و نیز روشی که حل‌پذیری آن‌ها را تعیین می‌کرد، یادداشت کرد. در دل این تحلیل او ساختار جبری نظریه‌ی گروه جای داشت. صبح روز ۳۰ می سال ۱۸۳۲، گالوای بیست و یک ساله به ضرب یک گلوله بر زمین افتاد و در «میدان افتخار» درگذشت. ادعا شده است که این دوئل تروری بود که از پیش برای از بین بردن گالوای تندرو سیاسی برنامه‌ریزی شده بود. با وجود این، خوشبختانه در حدود چهارده سال بعد، یادداشت‌های گالوا به دست ریاضیدان شهیر فرانسوی، ژوزف لیوویل، افتاد که به ارزش و نبوغ به‌کاررفته در این یادداشت‌ها پی برد و آن‌ها را در اختیار ریاضیدانان دنیا گذاشت.

نظریه‌ی گروه، زبان ریاضیاتی تقارن است و به نظر می‌رسد که نقش بنیادینی در ساختار خود طبیعت داشته باشد.^{۱۷} نظریه‌ی گروه بر همه‌ی نیروهایی که می‌بینیم حاکم است و باور بر این است که اصل زیربنایی سازمان‌دهنده‌ی دینامیک ذرات بنیادی است. مفهوم تقارن در فیزیک مدرن شاید از همه‌ی مفاهیم دیگر مهم‌تر باشد. امروزه معلوم شده است که اصول تقارن، قوانین بنیادی فیزیک را دیکته می‌کنند، ساختار و دینامیک ماده را زیر کنترل دارند، و نیروهای بنیادی طبیعت را تعریف می‌کنند. طبیعت، در بنیادی‌ترین سطح، با تقارن تعریف می‌شود. تصویری که امروزه داریم و اندک اندک در طول قرن

بیستم فراهم شده، هنوز ناقص است. با وجود این، ما تعدادی از قطعات معمّای جورچین را یافته‌ایم که بدانیم تقارن برای همه‌ی این قطعات بنیادی است. مفهوم انتزاعی تقارن و رابطه‌ی آن با دنیای فیزیکی تا ابد ماندگار خواهد بود. در گرماگرم راه‌اندازی فیزیک جدید قرن بیستمی، حیات زاهدانه و تا اندازه‌ای حزن‌انگیز بزرگترین بانوی ریاضیدان تاریخ، امی نوتر، خودنمایی می‌کند. او در مرکز فکر جهان عصر خود، دانشگاه گوتینگن آلمان، فعالیت می‌کرد. در آنجا با بزرگترین ریاضیدان آن روزها، دیوید هیلبرت، کار کرد و پژوهش‌هایش تأثیر به‌سزایی بر آلبرت اینشتین گذاشت. او سمت دانشگاهی داشت که آن روزها به زنان نمی‌دادند و دست‌آخر شاهد سقوط تمدن اروپایی شد. او سدّ شیشه‌ای نفوذناپذیری را شکست و مدرّس دانشگاه شد و در پی آن چون یهودی بود از دانشگاه اخراج گردید. امی با تأثر فراوان، دوستان و خانواده‌اش را ترک کرد و دیگر آن‌ها را ندید و چند سال باقی‌مانده از عمرش را در دانشگاه برین ماور پنسیلوانیا گذراند.

نوتر برای پژوهش‌هایی که در ساختار بنیادی ریاضیات کرده بود، در گوتینگن به شهرت رسید. با وجود این، گامی کوتاه نیز در حیطه‌ی فیزیک نظری برداشت تا قضیه‌ی ریاضیاتی مهمی درباره‌ی طبیعت ثابت کند. این قضیه گزاره‌ی چنان مهمی است که چه بسا مثل قضیه‌ی معروف فیثاغورس در اعماق بافت ذهن ما رسوخ کند. قضیه‌ی نوتر به‌طور مستقیم تقارن را با فیزیک مرتبط می‌کند، و بر عکس. این قضیه مفاهیم مدرن ما درباره‌ی طبیعت و قواعد روش‌شناختی علمی مدرن را جمع‌بندی می‌کند. مستقیماً به ما می‌گوید که چگونه تقارن‌ها بر فرآیندهای فیزیکی‌ای حاکم هستند که دنیای ما را تعریف می‌کنند. از دیدگاه فیزیکدان‌ها، آنگاه که اعماق بافت ماده را می‌کاوند و کوچکترین فواصل فضایی و کوتاه‌ترین لحظات زمانی را اکتشاف می‌کنند، این قضیه چراغ‌راهنمای رونمایی از اسرار طبیعت است.

دانشمندان برای نیل به این اهداف، قوی‌ترین میکروسکوپ‌های ساخت دست بشر را به کار می‌گیرند. این ابزار شتاب‌دهنده‌های بزرگ ذره‌ای هستند، از جمله تواترون در فرمی‌لب در باتاویای ایلینویز، و برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون در ژنو سوئیس. تواترون، پروتون‌ها و پادپروتون‌ها را در دایره‌ی بزرگی

در دو جهت مخالف هم شتاب می‌دهد و انرژی‌هایی در حدود هزار میلیارد الکترون ولت تولید می‌کند، انگار که دو سر لامپ خلاء‌ای را به ولتاژ هزار میلیارد ولت وصل کرده‌ایم. این ذرات شاخ به شاخ با یکدیگر برخورد می‌کنند. کوارک‌ها و پادکوارک‌های درون پروتون‌ها و پادپروتون‌ها نیز خودشان با یکدیگر برخورد می‌کنند. فیزیکدان‌ها با بازسازی محصولات هر برخورد، نوعی «عکس» از ساختار ماده در مقیاس‌های فوق‌العاده کوچک می‌گیرند، مقیاس‌هایی که نسبت‌شان به قطر توپ بسکتبال، مثل نسبت توپ بسکتبال به مدار پلوتو است! این رویدادهای برخوردی، اجزای بنیادی تشکیل‌دهنده‌ی ماده و قوانین بنیادی فیزیک حاکم بر رفتار آن‌ها را معلوم می‌کنند. درمی‌یابیم که تقارن بر این رفتار حاکم است.

با مطالعه‌ی فیزیک در چنین مقیاس‌های کوچک، می‌توانیم ببینیم که نیروهای طبیعت در هم ادغام می‌شوند و خاصیت مشترکی از خود بروز می‌دهند، پدیده‌ای که در انرژی پائین، یا «بزرگ‌نمایی‌شده» دیده نمی‌شود. امروزه پی برده‌ایم که این ادغام، یا وحدت نیروهای بنیادی در نیرویی واحد، نتیجه‌ای از نوعی اصل تقارنی زیربنایی ظریف است. این اصل که ناوردایی پیمان‌های نام دارد، بسیار مهم است. دانشمندان که این اصل را در اختیار دارند، هم‌اینک می‌توانند جهان هستی را در آغازین‌ترین لحظات زمان درک کنند. از دیگ کوارک‌ها، لپتون‌ها، نیروهای بنیادی پیمان‌های، کیهان‌شناسی مدرن سر برآورده است.

کشف اصل تقارن وحدت‌بخش ناوردایی پیمان‌های به ما این اجازه را می‌دهد که به لحاظ نظری بتوانیم به مقیاس‌های طولی هزار هزار میلیارد برابر کوچکتر از آنچه با قوی‌ترین شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای دیده می‌شود، سفر کنیم. این اصل هم‌چنین ما را قادر ساخته است که گمانه‌زنی کنیم که خود جهان هستی در نخستین یک میلیون میلیارد میلیارد میلیاردیم ثانیه چه شکلی بوده است! در چنین فواصل کوتاهی، در حدود 10^{33} تقسیم بر $1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000$ برابر اینچ (یعنی ۱ تقسیم بر ۱ با سی و سه صفر در جلوش، یا با نماد علمی 10^{-33})، گرانش کوانتومی فعال می‌شود، فضا و زمان در هم می‌شکنند، و ایده‌هایی که از واقعیت داریم مخدوش می‌شوند. در آنجا باید از اصول تقارن (و ایده‌های ریاضیاتی مرتبط با آن، از جمله توپولوژی، مطالعه‌ی

اشکال ممکن سطوح) استفاده کنیم تا به لحاظ نظری گمانه‌زنی کنیم که وحدت کامل همه‌ی نیروها، ما را در نهایت به کجاها می‌کشاند.

چنین پژوهشی به ایده‌های تازه‌ی چشمگیری انجامیده است، از جمله نظریه‌ی اَبَررِسمان، با نظام ریاضیاتی عریض و طویل اسرارآمیزش، نظریه‌ی M که هنوز کسی آن را به طور کامل درک نمی‌کند (حتی کسی نمی‌داند که حرف M چه معنایی دارد).^۱ مع‌الوصف، نظریه‌ی اَبَررِسمان چه بسا پرتقارن‌ترین نظام منطقی باشد که تاکنون به ذهن آدمی خطور کرده است و بهترین فرضیه‌ی ما برای دست یافتن به نظریه‌ی همه‌چیز در جهان فیزیکی باشد. شاید هم مثل منظومه‌ی شمسی بطلمیوس، کپلر بعدی را می‌طلبد تا از تقارن‌های راستین و پنهان طبیعت رونمایی کند.

برای این که درک کنیم ایده‌های تقارنی در علم از کجا آغاز شد، این ماجرا را از اوّل شروع می‌کنیم. عقربه‌های ساعت را که عقب می‌بریم و زمانی را در نظر می‌گیریم که جهان هستی هنوز بسیار جوان بود، لیکن توده‌ی خاموش بی‌خاصیتی را می‌مانست که در آن چیزی به جز ابرهای به دردنخور هیدروژنی یافت نمی‌شد. چطور شد که از آنجا به اینجا رسیدیم؟

اینک تاریخچه‌ی جهان‌مان و بالاخص سیاره‌ی مان را مطالعه می‌کنیم، آن هم به شکلی که علم مدرن امروزی آن را درک می‌کند. از پشت عینک اسطوره‌شناسی یونان باستان به اوضاع نگاه می‌کنیم و انسان‌هایی را می‌بینیم که تلاش می‌کنند تا مفهوم «ریشه‌ها» را درک کنند. کمی دیرتر از جهان آغازین، چیزی در حدود یک میلیون سال پس از آغاز آن شروع می‌کنیم. منشأ سیاره‌ی زمین و خودمان را، آن‌گونه که اسطوره‌شناسی و علم می‌گوید، شرح می‌دهیم. روایت‌های اسطوره‌ای که انسان‌ها آن‌ها را در برابر بینش‌های حاصل از مشاهدات علمی خلق کرده‌اند، ویژگی‌های انسانی را به نیروهای طبیعت نسبت می‌دهند. از سوی دیگر، تاریخچه‌ی علمی جهان هستی از بی‌شماری آزمایش، مشاهده، و اندازه‌گیری با استفاده از تلسکوپ‌ها و میکروسکوپ‌ها (شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای) استنباط و در نهایت با ریاضیات آمیخته شده است.

۱. برای کسب اطلاعات بیشتر در این زمینه به کتاب معادله‌ی خدای میچیو کاکو، ترجمه‌ی جمیل آریایی، انتشارات مازیار، ۱۴۰۰، رجوع کنید. م.

در اینجا خواهیم دید که توانمندی فیزیک، گاهی در تضاد و گاهی در هماهنگی، با شعر و سنت در هم تنیده و درک مدرن روش‌شناسی ما را ساخته است. برآنیم تا نشان دهیم که چنین تصویری از معرفت — جایی کاملاً واضح، جایی هنوز تار، و جایی دیگر هم‌چنان در هاله‌ای از ابهام — هر چه باشد، از مجموعه‌ای جهان‌شمول و تزلزل‌ناپذیر از قوانین فیزیک پیروی می‌کند. این قوانین را هنوز به طور کامل درک نمی‌کنیم، اما آن‌ها هستند که تاریخچه‌ی غنی خود جهان هستی را کنترل می‌کنند و بر آن حکم می‌رانند. گواه علمی متقنی که بخشی از آن از اسناد زمین‌شناختی زمین آغازین به دست آمده است، نشان می‌دهد که قوانین فیزیک تغییرناپذیر بوده‌اند. آن‌ها همان قوانین فیزیک امروزی هستند که بر جهان آغازین حاکم بوده‌اند. این مجموعه قوانین لا‌تغییر، یا ناوردا، از تقارن‌های بنیادین ذاتی ساخته شده‌اند و بیانگر زیبایی خیره‌کننده‌ی طبیعت هستند.

در ثنای امی نوتر^۱

پژوهش‌های امی نوتر، درک ما از طبیعت را که از طریق فیزیک و ریاضیات کسب کرده‌ایم — با آن زیبایی و هارمونی که در اشکال گوناگون، در طبیعت، در موسیقی، و در هنر، همه‌جای اطراف ما را احاطه کرده‌اند — در هم می‌آمیزد. امی نوتر با قضیه‌ی شکوه‌مندی که ثابت کرد، سهم عمده‌ای در معرفت آدمی دارد. این قضیه، به زیبایی و روشنی تقارن را با دینامیک پیچیده‌ی فیزیک متحد می‌سازد و تفکر آدمی را چنان شکل می‌دهد که بتواند به ژرفای درونی دنیای ماده، در انرژی‌ها و فواصل حدّی، رخنه کند. چه بسا بتوان گفت، همان قدر که قضیه‌ی فیثاغورس در درک هندسه اهمیت دارد، قضیه‌ی نوتر نیز در درک قوانین دینامیک طبیعت مهم است.

در واقع، قضیه‌ی نوتر موضوع اصلی هر بحثی است که فیزیک و ریاضیات را متحد می‌کند، از جمله تدریس این دو مبحث چالشی به شکلی که هر دو را زنده کند. ایده‌های او رویکردی را در اختیار ما می‌گذارد که با آن‌ها نه تنها

۱. داستان زندگی این بانوی نابغه‌ی ریاضیات را در کتاب امی نوتر مادر جبر نوین، مارگارت تنت، ترجمه‌ی حسن فتاحی، انتشارات مازیار، چاپ دوم، ۱۳۹۶، بخوانید. م.

به یک ساعت تدریس، بلکه به کل برنامه‌ی درسی سال‌های پائینی دوره‌ی کارشناسی فیزیک، ریاضیات، و دیگر رشته‌های علوم، جان تازه‌ای می‌بخشیم. ایده‌های نوتر، مفاهیم تازه‌ای در ریاضیات را که گروه‌های تقارنی هستند به جایی که تعلق دارند، یعنی کلاس‌های درس ریاضیات، می‌آورد.

سهم‌های هوشمندانه‌ی امی نوتر فواید جامعه‌شناختی مهمی نیز دارند چون او نابغه و به احتمال زیاد بزرگترین بانوی ریاضیات در تاریخ بود. مردم و حتی دانشجویان، کمتر نامی از او شنیده‌اند، در عین حال که او می‌توانست نه تنها برای زنان، بلکه حتی برای هر آن کس که بخواهد یا نخواهد دانشمند شود، الگو باشد.

با وجود این، اکثر دختران جوان که در درس فیزیک دبیرستان یا کالج ثبت‌نام می‌کنند، از همان روز اول کلاس درس، باید بدانند که ناخواسته در حریم ممنوعه‌ی مردان وارد شده‌اند. در حریم باشکوه قهرمانان فیزیک چون گاليله، نیوتون، اینشتین، هایزنبرگ، شرودینگر، فرمی، و دیگران، برخلاف آنچه که در حریم الهگان کوه المپ، یا در نمایشنامه‌های شکسپیر، یا اپراهای ایتالیایی‌ها شاهد آن هستیم، توازن جنسیتی برقرار نیست. شگفت نیست که چرا دختران کمتری وارد رشته‌ی فیزیک می‌شوند. با همه‌ی این حرف‌ها، فیزیک نباید محفل یا «گرمابه»ی مردان باشد — جمله‌ای که ریاضیدان معروف، دیوید هیلبرت به کار برد، آنگاه که داشت نظر همکارانش را توصیف می‌کرد که با ارتقای نوتر مخالفت می‌کردند، در حالی که او استحقاق آن را داشت به درجه‌ی استادی برسد. در همه‌ی رشته‌های فکری، توانایی و بینش فرد را نباید با جنسیت آن‌ها سنجید.

امروزه تعداد زنان جوانی که فیزیکدان می‌شوند افزایش یافته است، لیکن این تعداد باز هم فوق‌العاده کم است. متأسفانه شاهد آن هستیم که علی‌رغم نقش الگویی بانوانی چون امی نوتر، و نیز ماری کوری، کاترین هرشل، سوفی جرمان، و بسیاری از زنان بزرگ دیگر علوم و ریاضیات در تاریخ، چهره‌ی زنان در علوم فیزیکی، به ویژه در فیزیک و ریاضیات، هم‌چنان بی‌فروغ است. جانبداری فرهنگی از جنسیت، در قرن بیست و یکم نیز تداوم دارد. جامعه‌ی علم، دیگر تاب تحمل بی‌توجهی به چنین گروه بااستعدادی را ندارد.

چشم‌اندازی که تقارن نشان می‌دهد وسیله‌ی نقلیه‌ای را می‌ماند که به فیزیک گالیله‌ای-نیوتونی چند قرن ساله جان تازه‌ای می‌بخشد. این چشم‌انداز نقشه‌ی راهی است به سوی تفکر مدرن درباره‌ی طبیعت و اندیشه‌های تازه‌ای چون نسبیّت اینشتین و وحدت همه‌ی نیروها تحت تقارن پیمانه‌ای. این چشم‌انداز جاده‌ای را تعریف می‌کند که به نظریه‌های ابررسمان منتهی می‌شود. بنابراین می‌طلبید که ما کتاب فیزیک همگان‌فهمی درباره‌ی این چشم‌انداز بنویسیم. می‌خواهیم کتابی بنویسیم که برای دوره‌های درس فیزیک در دبیرستان و سال‌های اولیه‌ی کالج مناسب باشد.

امروزه ما در دنیایی زندگی می‌کنیم که فوق‌العاده پیچیده است و با چالش‌هایی روبرو هستیم که می‌باید هر چه زودتر حل‌شان کنیم. ابزاری که می‌توانیم برای حل مسائل دنیا به کار ببریم، به پژوهش‌های بنیادی و تکنولوژی‌های پیشرفته نیاز دارند. موضوعات زیربنایی علم به هیچ‌روی برای مردم عادی قابل‌فهم نیستند. بنابراین، بر ماست که تلاش کنیم تا با افول آگاهی، شرکت، و درک رشته‌های تکنولوژیکی علم، مهندسی، و ریاضیات به مقابله برخیزیم. واجب است که بکوشیم تا به مردم عادی جامعه که از علم سررشته‌ی چندانی ندارند، مطالب علمی کلیدی را بیاموزیم. این چیزی است که آینده به آن بستگی دارد. گذشته از این‌ها، شاید از زندگانی امی‌نوتر و مشکلات او به عنوان بانویی در قلمرو علم، درس بگیریم که جامعه‌ی ما به تعامل و تنوع و کشف حقایق جهان هستی نیاز دارد.

یادداشت‌ها

[1] Albert Schweitzer, J. S. Bach, trans. Ernest Newman (Mineola, NY: Dover, 1966), pp. 99-101, 227.

[۲] زندگی‌نامه‌ی باخ، همراه با تاریخچه‌ی شکل موسیقایی و تحلیل رابطه‌ی میان موسیقی و تقارن، در سایت‌های اینترنتی زیر آمده است:

Prof. Timothy Smith of Northern Arizona University, "Sojourn: The Canons and Fugues of J. S. Bach," http://jan.ucc.nau.edu/-tas3/bach_index.html, and "Lüneburg (1700-1703)," <http://jan.ucc.nau.edu/-tas3/lüneburg.html#french>

پروفسور اسمیت عبارت تکنیک پس و پیش را برای بعضی از الگوهای پیچیده‌ی متقارن موسیقی باخ به کار برده است.

[3] Timothy Smith, "Bach: The Baroque and Beyond; The Symmetrical Binary Principle," <http://jan.ucc.nau.edu/-tas3/bin.html#note2>

«تقلید از رقص در آرایش‌ن‌ها که در آن جمله‌بندی‌ها مثل گام‌های به هم پیوسته در رقص‌های رسمی به یکدیگر پیوند می‌خورند، یعنی آرایش متقارن میزان‌ها، همه در شکل‌گیری قطعه به کار می‌روند که نمایش شعر در موسیقی است. همه‌ی غرور ملت فرانسه به این است که ... بخش‌بندی‌های متقارن دقیق که فیگورهای موسیقایی در هر قطعه را شکل می‌دهند به اشکال تزئینی درختان شمشاد باغچه‌های باغ توپلری پاریس می‌مانند.» نقل از

Manfred F. Bukofzer, *Music in the Baroque Era* (New York: W. W. Norton, 1947), p. 351.

[4] William Manchester, *A World Lit Only by Fire: The Medieval Mind and the Renaissance Portrait of an Age* (Boston: Back Bay Books, 1993), p. 230.

[5] Will Durant and Ariel Durant, *The Story of Civilization*, vol. 2, *The Life of Greece* (New York: Simon & Schuster, 1966), pp. 636-37.

[۶] برای شرح نظریه‌ی گروه و زندگانی گالوا به کتاب زیر رجوع کنید:

Simon Singh, *Fermat's Enigma* (New York: Walker, 1997), pp. 223-26.

[۷] خوانندگانی که به مبانی ریاضیاتی تقارن علاقه‌مند هستند، می‌توانند به پیوست کتاب رجوع کنند که در آن مفاهیم مقدماتی نظریه‌ی گروه را آورده‌ایم و به تعدادی از نتایج قابل‌فهم آن پرداخته‌ایم. این پیوست به عنوان مقدمه‌ای بر نظریه‌ی گروه برای کلاس‌های درس جبر دبیرستانی یا کلاس‌های فیزیک دانشگاهی مناسب است.

فرزندان تایتان‌ها

تایتان‌ها را آذرخش زئوس به قتل رساند؛
لیکن از خاکسترشان، انسان زاده شد.

— آرتور کوستلر، خوابگردها

تحوّل جهان هستی و استعاره‌های آن

ده میلیون سال از مه‌بانگ می‌گذشت که مه رقیقی از ذرات جهان را فرا گرفت. مه رقیقی در فضا پراکنده شد که تنها سبکترین عناصر، اکثراً گاز هیدروژن و کمی هم گاز هلیوم، را داشت. مقداری از ذرات بنیادی به‌جای‌مانده از لحظه‌ی وحشیانه‌ی آفرینش نیز بود که در فضا آزادانه این سو آن سو می‌رفتند. تاریک بود و اندک اندک سرد می‌شد، شعله‌ی فروسرخ کم‌سویی روشنایی داشت و شعله‌ی سردشده‌ی آتش خاموشی را می‌مانست.^{۱۱} جهان هستی در ده میلیون سالگی‌اش، انگار که در حال جان دادن باشد.

جهان ماده‌ای نداشت که بتواند با آن اجسام جامدی بسازد. چنین می‌نمود که هیچ‌گاه چیزی وجود نخواهد داشت، نه صدف دریایی‌ای، نه درختی، نه کوه یخی، نه مجسمه داوودی، نه آزادراهی، نه سیم گیتاری، نه پری، نه مغزی، نه ابزار سنگی باستانی‌ای، نه حتی کاغذی که باخ بتواند روی آن کانتاتای خود را بنویسد. به راستی که سنگی، شنی، آبی، یا جوّ سیاره‌ی قابل تنفسی نمی‌توانست وجود داشته باشد، چه رسد به سیاره‌ای. هیچ جامدی نمی‌توانست از گازهای پراکنده یا ذرات بنیادی گریزان شناور و تک‌افتاده در فضای بی‌کران، شکل بگیرد. در عرض ده میلیون سال که زمانی کافی برای شکل‌گیری سیاره‌ای، یا حتی کلّ گونه‌های حیات در روی زمین نیست، جهان بی‌شکل، سرد، تاریک، و به ظاهر در حال اهتزاز بود.

به دلایلی که امروزه نمی‌دانیم، شاید بر اثر یکی از گونه‌های اسرارآمیز ذرات

بنیادی که هنوز ناشناخته است و در عین حال در مه بدوی وجود داشت، اتفاقی افتاد. چه بسا این اتفاق چیزی بیش از تشکیل خودبه‌خودی قطعات کوچکی از ذرات بود که حرکت کوانتومی آن‌ها را به هم می‌زد و تخم‌های کوچک بدوی ساختار را می‌ساخت، مثل دانه‌های گرد و غباری که سبب می‌شوند بخار آب روی آن‌ها جمع شود و به قطرات بارانی تبدیل شوند که بر دشت‌های ایالت کانزاس می‌بارند. همین کافی بود تا گرانش وارد عمل شود. با نیروی مهارنشده و خلل‌ناپذیر، این مه می‌رُمد و ابرهای غول‌پیکری می‌سازد. ابرهای هیدروژنی بزرگ، مثل گردبادی عظیم، به چرخش درمی‌آیند. هر چه زمان می‌گذشت، این رُمبش/فروریزش گرانشی شدیدتر می‌شد. در عرض چند صد میلیون سال، مه بدقواره و بی‌ریخت به کل تغییر شکل داد. کهکشان‌های بزرگ بدوی قطره‌ای شکل، هر یک محتوی میلیاردهای ستاره‌ی جوان و کم‌فروغ، درخشیدند. جهان شکوفه داد. این ستارگان نخستین، پدر و مادر و پدربزرگ‌ها و مادر بزرگ‌های نسل‌های بعدی ستارگان بودند. بعضی از آن‌ها چیزی بیش از توپ‌های نرم بزرگ از گاز هیدروژن داغ نبودند و نور کم‌سویی داشتند. سایرین ابرستاره شدند این‌ها کرات فوق‌العاده تابناکی، صدها مرتبه سنگین‌تر از خورشید بودند که سوخت بدوی هیدروژن و هلیوم‌شان را با ولع می‌بلعیدند و به رنگ آبی می‌درخشیدند. در اعماق درون این ستارگان تایتانی، فرآیند هم‌جوشی هسته‌ای، سوخت هیدروژن و هلیوم را به هم می‌چسبانید و اتم‌های سنگین‌تر را می‌ساخت.

فشار و دمای فوق‌العاده زیاد درون این ستارگان فرآیند هم‌جوشی هسته‌ای را می‌پروراند.

با پیوند خوردن هسته‌های اتمی، هسته‌های اتمی سنگین‌تر ساخته می‌شد. دو هسته‌ی هلیوم که به یکدیگر پیوند می‌خوردند، هسته‌ی بریلیم ساخته می‌شد و اگر هسته‌ی هلیوم دیگری به آن افزوده می‌شد، هسته‌ی کربن را می‌ساخت و افزوده شدن هسته‌ی دیگری از هلیوم به هسته‌ی کربن، هسته‌ی اکسیژن را تولید می‌کرد، و همین‌طور الی‌آخر. این فرآیند، انرژی سوختی ستارگان را تأمین می‌کرد و سبب آن می‌شد که ستارگان بدرخشند و تابش قوی نورشان را در فضای تهی تاریک جهان هستی پخش کنند.

رشته‌ی واکنش‌های هم‌جوشی هسته‌ای تداوم می‌یابد و اتم‌های به مراتب

سنگین‌تری را در کوره‌های هسته‌ای درون ستاره‌ای تولید می‌کند، تا این که عنصر آهن فراهم می‌آید. آهن پایدارترین هسته‌ی اتمی است و در کنار هسته‌های عناصر سنگین‌تر، با چسبیدن به هسته‌های اتمی دیگر، انرژی چندانی تولید نمی‌کند. آهن پایان چرخه‌ی سوخت هر ستاره و از این رو پایان عمر آن را خبر می‌دهد. ستارگان هر چه کوچکتر باشند، آنگاه که سوخت هم‌جوشی‌شان را تمام کنند، دیگر نمی‌درخشند و به دنیاهای سرد مرده‌ای می‌خزند و در درون کهکشان‌ها از دیده‌ها پنهان می‌شوند و به خواب ابدی فرو می‌روند. لیکن، ابرستارگان، سرنوشت خشونت‌بار و بسیار حزن‌انگیزی را تجربه می‌کنند.

تایتان‌ها

همه‌ی تمدن‌ها کوشیده‌اند نیروها، قواعد، و قوانین زیبایی را درک کنند که رشته رویدادهایی را رقم زدند که سبب شکل‌گیری دنیای فیزیکی شده است. چه کسی یا چه قدرتی جهان هستی را آفریده است؟ داستان آفرینش جهان هستی به چه زبانی باید روایت شود؟ آیا خواهیم توانست به همه‌ی پرسش‌های مان پاسخ دهیم؟ این تاریخ تحول جهان هستی، از انفجار آغازین گرفته تا آفرینش کهکشان‌هایی که میلیارد‌ها خوشه‌ی ستاره‌ای نورافشان در تاریکی دارند، را انسان‌هایی ساخته و پرداخته‌اند که محصول تحول مقیاس کاملاً متفاوتی هستند که روی سیاره‌ی یگانه‌ای رخ داده که ستاره‌ای معمولی را دور می‌زند و خود این ستاره بخشی از کهکشانی معمولی است. چنین روایتی از جهان هستی علمی است. در عین حال درس روشنگرانه‌ای است از توسعه‌ی فکر آدمی که حکایت از تحول ایده‌ی آفرینش دارد. ریشه‌های مفهومی کیهان‌شناسی مدرن مان را می‌شود حتی درون اسطوره‌های کافران باستانی، از جمله بابلیان، مصریان، و یونانیان یافت. از این اسطوره‌ها می‌توانیم به عمق تفکر عقلایی این اقوام به معماهای منطقی بنیادینی پی ببریم که جهان هستی پیش پای آن‌ها می‌گذاشت. ما در روزگاران خود بر آن شده‌ایم تا درک مان از قواعد طبیعت را به نظم بکشیم. می‌گوییم که این قواعد، قوانین فیزیک هستند. زبان قوانین طبیعت، ریاضیات است. اعلام می‌کنیم که درک مان از این قواعد هنوز ناقص است و در عین حال می‌دانیم که چگونه با «روش علمی» درک مان را وسعت دهیم. روش علمی نوعی فرآیند منطقی مشاهده و برهان‌آوری است که با آن احکام درست

تجربی درباره‌ی طبیعت را می‌پالاییم. توجّه داریم که این «فرآیند منطقی» اغلب با هاله‌ای از عدم قطعیت، سردرگمی، خطا، اداره‌بازی‌ها، منیّت‌ها، احاطه شده است، لیکن در پایان همه این‌ها، فرآیند منطقی برنده میدان است. بنابراین دانشمندان در تلاش‌اند که قوانین تغییرناپذیر طبیعت را تعیین کنند. امروزه بر این باوریم که قوانین جاقفاده‌ی فیزیک چنان کامل جهان را توصیف می‌کنند که همین قوانین در لحظه‌ی آفرینش نیز، مثل امروز، بر جهان هستی حاکم بوده‌اند، لیکن این فرضیه‌ای است علمی که دانشمندان پیوسته در پی تأیید مشاهداتی آن هستند. باستانیان نیز مجموعه‌ای از قواعد تزلزل‌ناپذیر را جسته‌اند تا دیدگاه‌شان از آفرینش را توجیه کنند. ادراک این باستانیان از نیروها و قوانین حاکم بر آفرینش نیز براساس مشاهدات تجربی آن‌ها از دنیای اطراف‌شان بوده است. با وجود این، قواعد آن‌ها «قوانین» سرشت آدمی و «قواعد» احساس آدمی بوده که نقاط ضعف رفتار و کردار آدمی را دارد. این ویژگی‌های رفتاری به خدایان آن‌ها، محرک‌های آغازین جهان هستی، سرایت کرده است. زبان آن‌ها، به عوض زبان انتزاعی ریاضیات، زبان شعر بوده است.

تایتان‌های اسطوره‌شناسی بی‌خدای آفرینش یونان باستان، از جنبه‌ی عجیب و غریبی، مانسته‌های استعاری نخستین ستارگان بزرگی بوده‌اند که در جهان ما شکل گرفتند — ستارگانی که دست‌آخر اَبَر‌نواختر شدند. تایتان‌ها نخستین نسل از خدایان رازآلود، به نام «خدایان مهتر» هستند که نیاکان نسل‌های بعدی خدایان کوه المپ بودند. اسطوره‌شناسی یونان خدایان زیادی دارد که همه خصلت‌های انسان‌ها را دارند. از این رو، این اسطوره‌شناسی مملو است از هرزگی، عشق، بی‌بند و باری جنسی، زنا‌ی با محارم، غارت، تنفر، دشمنی، حسادت، خشونت، و همه‌ی آنچه در هر اپرای قرن نوزدهمی می‌توان یافت. در این اسطوره‌شناسی، منطق منحصربه‌فردی را نیز می‌یابیم که بر داستان مدرن علمی آفرینش حاکم است. بنا بر اسطوره‌شناسی یونان، خائوس (آشوب) قبل از تایتان‌ها وجود داشت. در عصر هومر — قرن هشت قبل از میلاد — هسیود شاعر در کتاب تبارنامه‌ی خدایان 'نوشت که گایا (زمین) خودبه‌خود از خائوس سر برآورد و اورانوس

۱. خوانندگانی که به تبارشناسی خدایان یونان باستان علاقه دارند، کتاب توگونی هسیودس، ترجمه و شرح فریده فرنودفر، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۱۳۹۹ را بخوانند. م.

(آسمان) را زائید. ما وارثان گایا، الهه‌ی ماقبل تاریخ «زمین مادر» هستیم که فرهنگ‌های قبیله‌ای غرب قبل از ظهور تمدن هلنی او را می‌پرستیدند:

راستی که در آغاز خائوس پدیدار شد، بعد گایای با قامت رعنا [زمین]، جایگاه استوار همه‌ی جاودانه‌های حاکم بر قتل برفی المپ و تارتاروس [دوزخ] رنگ‌پریده در ژرفای زمین فراخ و اروس [عشق]، خوب‌روی‌ترین همه‌ی خدایان جاودانه که از همه دل می‌برد و عقل و هوش از سر همه‌ی خدایان و همه‌ی مردمان آن‌ها می‌پراند. آنگاه خائوس، اربوس [تیرگی] و شب تاریک را می‌زاید، لیکن شب، اثر و روز را که می‌پندارد از هم‌آغوشی با اربوس زاده شده‌اند. و گایا نخست اکرانوس [آسمان] پرستاره را زایید که به اندازه‌ی خود او بود تا او را از هر سو در آغوش بکشد و اقامتگاه همیشگی خدایان مقدس باشد. و او تپه‌های بلند را زایید، مکان دلنشینی برای الهگان نیمف که در دره‌های تنگ این تپه‌ها با هم نزاع می‌کردند. گایا، پونتوس دریای عمیق بی‌ثمر متلاطم، را نیز زایید که حاصل هم‌آغوشی عاشقانه‌ای نبود. از آن پس او با اورانس هم‌بستر شد و اکینوس عمیق و خروشان، کوئوس و کریوس و هیپیون و ایپتوس، ثیا و رئا، تمیس و منموسین و فوئب تاج طلایی و تیس دوست‌داشتنی را به دنیا آورد. بعد از آن‌ها، کروئوس حیل‌گر، جوان‌ترین و شرورترین فرزندان‌اش را زاد که از پدر هوس باز خود بی‌زار بود.

بنابراین گایا با نخستین پسرش اورانوس هم‌آغوش شد و از او فرزندی آورد که با غرور آن‌ها را تایتان‌ها نامید که به لحاظ قد و قامت و بنیه‌ی بدنی فوق‌العاده بودند. معروف‌ترین تایتان‌های اسطوره‌ای عبارت بودند از کروئوس، ساتورن رومی، پدر زئوس؛ او کتانوس (الهه‌ی دریا)؛ نموزین (الهه‌ی حافظه)؛ تمیس (الهه‌ی عدالت)؛ ایافوس که پسرش اطلس، جهان را بر شانه‌های‌اش حمل می‌کرد. پرومتوس تایتانی بود که از خدایان آتش می‌دزدید تا نژاد انسان‌ها را نجات دهد و انسان‌ها را ترغیب می‌کرد تا جهان هستی را درک کنند. تارتاروس در شعر هسیود، مظهر دنیای مردگان است، جایی تاریک، دلگیر، و ترسناک، یعنی جهنم واقعی که در حصارهای آهنی بلندی محصور است، زندان مادام‌العمر آنانی که به آن وارد می‌شدند و در دروازه‌های‌اش کریه‌المنظرترین موجودات جهان نگهبانی می‌دادند. تارتاروس زیرین‌ترین نقطه بود، با وجود این، اگر به درون آتشفشانی می‌پریدی و نه روز در آن سقوط می‌کردی، به دروازه‌های آن می‌رسیدی. تایتان‌ها

والدین خدایانی بودند که دست‌آخر بر کوه المپ تسلط یافتند. مابقی خدایان اسطوره‌شناسی یونان، همه فرزندان تایتان‌ها بودند.^[۱]

می‌توان دید که میان روایت علمی امروزی ما و اسطوره‌شناسی باستان، وجوه مشترک چشمگیر زیادی هست، گیرم که هسیود نمی‌توانست آن را پیش‌بینی کند. برای مثال، تارتاروس، فرزند تاریک‌گایا، می‌تواند نماینده‌ی سیاهچاله‌های غول‌پیکری باشد که ما باور داریم امروزه در دل بسیاری از کهکشان‌ها جای دارند. این سیاهچاله‌ها از ابرهای گازی بدوی شکل گرفته‌اند که روی خود آوار شده و نخستین ساختارهای جهان هستی را ساخته‌اند. سفر تارتاروس به درون آتشفشان، به توصیف شاعرانه‌ای می‌ماند که اگر در افق رویداد، کرانه‌ی سیاهچاله‌ی غول‌پیکر، سقوط کنی، برگشتی به جهان و خانه‌ات نخواهی داشت. همین که از افق رویداد بگذری که به مراتب قوی‌تر از هر دروازه‌ی آهینی است که ضرورت‌ترین و خشن‌ترین هیولاها از آن حفاظت می‌کنند، در زندان ابدی سیاهچاله گرفتار می‌شوی. در آنجا فضا و زمان چنان آرایشی دارند که حتی نور را یارای گریز از آن نیست.

عصر هسیود که به دوران حماسی تمدن یونان مشهور است، همانند دوران آغازین عصر رنسانس در اروپا، دوره‌ای بود که ادبیات شکوفا می‌شد. بعد از رنسانس، عصر تحلیل‌گری و عقل‌گرایی شکل گرفت که عصر «روشنگری»^۱ بود و به توسعه‌ی ریاضیات انجامید. در یونان باستان نیز چنین دوره‌ای با پیدایش مکتب ریاضیدان بزرگ قرن ششم قبل از میلاد، فیثاغورس، شکل می‌گیرد. این زمان و مکان خاص در کل تاریخ آدمی، از هر جهت یگانه است، چون در آن ذهن اصلاح‌یافته‌ی آدمی پی می‌برد که ریاضیات دنیای فیزیکی را توصیف می‌کند. فلاسفه‌ی فیثاغورسی که ابزار هندسه‌ی جدید را در اختیار داشتند، می‌خواستند پرسش‌های ساختاری درباره‌ی جهان هستی را توضیح دهند. با در نظر گرفتن نظم منطقی مفروض ریاضیاتی، آن‌ها پرسیدند که جهان هستی چگونه شکل گرفت که چنین منطقی بر آن حاکم شد؟ شکل آن چیست؟ اجزای اش چگونه حرکت می‌کنند؟ ترکیبات (اتمی؟) مواد آن

۱. برای اطلاعات بیشتر کتاب روای عصر روشنگری: ظهور فلسفه نوین، آنتونی گاتلیب، ترجمه‌ی فریبرز مجیدی، انتشارات مازیار، ۱۳۹۷ را ببینید. ناشر