

او درس را رها کرد که شاعر شود، اکنون دارنده مدال فیلدز است*

ژردانا کیلویز*

ترجمه: سیده مرضیه عبدالهی و سعید علیخانی**

چکیده

جون هو^۱ علاقه‌ای به ریاضیات نداشت تا اینکه در سال ششم کالج با یک ملاقات تصادفی روبه‌رو شد. اکنون بینش عمیق او ترکیبیات و هندسه را به هم مرتبط کرده و به بالاترین افتخار ریاضی منجر شده است.

استفاده می‌کرد، تا روش‌هایی نوین و هیجان‌انگیز برای تعامل آن‌ها با یکدیگر بیابد). با شروع دوره تحصیلات تکمیلی، او چندین مسئله اصلی در ترکیبیات را حل نمود، و یک مسیر غیرمستقیم را از طریق شاخه‌های دیگر ریاضیات برای رسیدن به ماهیت هر اثبات ایجاد کرد. هو گفت: «هر بار پیدا کردن آن مسیر شبیه به یک معجزه کوچک بود.»

شاید در مورد مسیرش در ریاضیات نیز، بتوان همین را گفت که: این مسیر به وسیله سرگردانی زیاد و دنباله‌ای از معجزات کوچک مشخص شده است. زمانی که او جوان‌تر بود، هیچ تمایلی به ریاضیات نداشت و نسبت به آن بی‌علاقه بود، دبیرستان را رها کرد تا شاعر شود. در طی سال‌های دانشگاهش یک ملاقات تصادفی و مهیج، برای او لازم بود تا بفهمد که ریاضیات همان چیزی را دارد، که او همیشه در جستجوی آن بوده است. از آن زمان به بعد، آن مسیر شاعرانه، پیشرفت‌های چشم‌گیری در ریاضیات را برای او محقق کرد. به گفته همکارانش: استعداد هنری او در پیدا کردن چیزها و روابط درست در مرکز کارش کاملاً مشهود است. او در هرکاری که انجام می‌دهد به دنبال کشف یک مفهوم عمیق‌تر است. فدریکو آردیلا-مانتیللا^۲، ریاضی‌دان دانشگاه ایالتی سان‌فرانسیسکو، و یکی از همکاران هو می‌گوید: «ریاضی‌دان‌ها بسیار شبیه به هنرمندان هستند، چون ما واقعاً در جستجوی زیبایی هستیم. اما در مورد او، فکر می‌کنم این موضوع کاملاً محرز است و من سلیقه‌اش را واقعاً دوست دارم، او چیزهای زیبایی می‌سازد.»

آردیلا افزود: زمانی که فهمیدم او پس از شاعری به ریاضیات روی آورده است، خوشم آمد و حس خوبی در من ایجاد کرد.

هو ریاضی‌دان و هنرمند را به موازات هم تصور می‌کند. او در مورد هر دو می‌گوید: «این‌طور به نظر می‌رسد که به جای خلق چیزی در ذهن خودتان، چیزهایی که از قبل وجود دارد را به دست می‌آورید.»

ترک تحصیل

هر روز به‌طور مشخص، هو حدود سه ساعت کار متمرکز انجام می‌دهد. او ممکن است در مورد مسائل ریاضی فکر کند، یا برای تدریس دانشجویان آماده شود و یا قرارهای ملاقات دکتر برای



جون هو در دفتر کارش در دانشگاه پرینستون

جون هو، غالباً گم می‌شود، او هر روز بعد از ظهر، یک پیاده‌روی طولانی در اطراف دانشگاه پرینستون، جایی که استاد گروه ریاضیات است، انجام می‌دهد. یک روز در اواسط ماه می، او راه خودش را در میان جنگل‌های اطراف مؤسسه مطالعات پیشرفته در همان نزدیکی طی می‌کند. درحالی‌که به دوراهی روبه‌رو فکر می‌کند، می‌گوید: «صرفاً جهت اطلاع شما باید بگویم، نمی‌دانم کجا هستیم». او هر چند وقت یک‌بار مکث می‌کند و به حرکات ظریف حیات وحش که در زیر برگ‌ها یا پشت درختان پنهان شده‌اند، اشاره می‌کند. در میان حیواناتی که او در طی دو ساعت سرگردانی کشف کرده بود، یک جفت قورباغه، یک پرنده کاکل قرمز، یک لاک‌پشت به اندازه یک انگشت و یک روباه تیزپا دیده می‌شد، که تماشای هر کدام لذت خودش را داشت.

او می‌گوید: «من اشیاء را خیلی خوب پیدا می‌کنم و این یکی از توانایی‌های ویژه من است.»

جون هو ۳۹ ساله، اکنون برنده مدال فیلدز، بالاترین افتخار در ریاضیات، است. او این جایزه را به دلیل توانایی‌اش در پرسه‌زدن در سرزمین ریاضی و یافتن چیزهای درست، برنده شده است (چیزهایی که او، برای فهمیدن زمینه‌های به ظاهر متفاوت هندسه و ترکیبیات

*Jordana Cepelewicz ¹Jun-Huh ²Federico Ardila-Mantilla

مدرسه برایش طاقت فرسا بود. او عاشق یادگیری بود، اما نمی‌توانست در محیط کلاس موضوعی را تحلیل یا بر روی موضوعی تمرکز کند. در عوض، او ترجیح داد به‌تنهایی مطالعه کند. در دوران دبستان، تمام ۱۰ جلد یک دایرةالمعارف در مورد موجودات زنده را مشتاقانه خواند و کوهی نزدیک خانه‌شان را کاوش کرد و به‌سرعت با هر گوشه از آن آشنا شد، اما او همیشه گم می‌شد، حتی یک‌بار در منطقه‌ای قرار گرفت که به‌دلیل احتمال وجود مین، محصور شده بود. او تمام تلاش خود را می‌کرد تا حدامکان از ریاضی اجتناب کند. یک‌بار پدرش سعی کرد با کتاب کار به او آموزش دهد، اما چون هو به‌جای سعی در حل مسئله، جواب‌ها را از پشت کتاب کپی می‌کرد. زمانی که پدرش متوجه شد، آن صفحات را پاره کرد. اما هو به یک کتاب‌فروشی محلی رفت و پاسخ‌ها را از آنجا یادداشت کرد. هو گفت: «بدرم در آن لحظه تسلیم شدم.»

زمانی که او ۱۶ ساله و در اواسط سال اول دبیرستان (دورهٔ دبیرستان در کره جنوبی سه سال به طول می‌انجامد) بود، تصمیم گرفت برای نوشتن شعر، ترک تحصیل کند. او رمانتیک بود. هو می‌گوید: «من به معنای واقعی کلمه می‌توانستم، بعد از شنیدن موسیقی خوب، گریه کنم.» او در مورد طبیعت و تجربیات خودش می‌نوشت و قصد داشت شاهکار خود را دو سال قبل از ورود به دانشگاه تکمیل کند. او خندید و گفت: «این اتفاق نیفتاد.»

او متوجه شد، که در فرایند نوشتن بسیار روی خودش متمرکز می‌شود و این تمرکز برای او، اغلب دردناک و افسرده‌کننده بود. علاوه‌براین، همان‌طور که او بعدها متوجه شد و گفت: «من می‌خواستم کسی باشم که شعرهای عالی می‌نویسد، من نمی‌خواستم شعر عالی بنویسم.» اکنون او نسخه‌ای از خودش را می‌بیند، که کاملاً غریبه است.

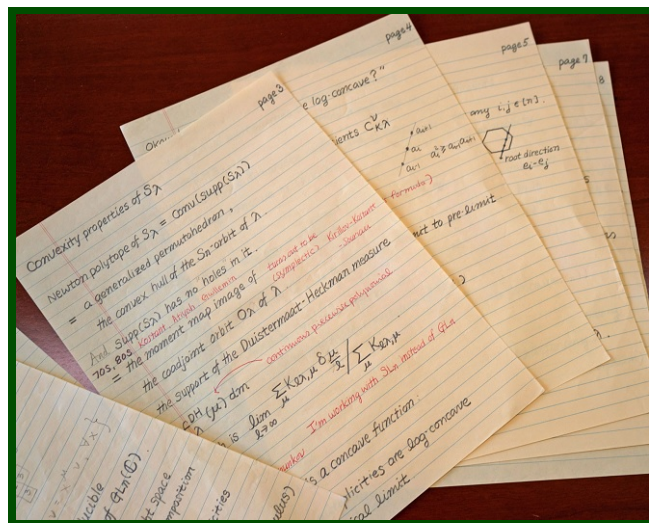
زمانی که در سال ۲۰۰۲ وارد دانشگاه ملی سئول شد، احساس سرگردانی کرد. او برای مدت کوتاهی با ایده نویسنده‌گی علمی خوش بود، و تصمیم گرفت در رشته نجوم و فیزیک تحصیل کند. اما او اغلب کلاس را ترک می‌کرد، و حتی مجبور شد، چندین درس را مجدد بگذراند. او گفت: «به‌طور کلی سردرگم شده بودم، نمی‌دانستم چه کاری می‌خواهم انجام دهم و در چه کاری خوب هستم.»

معلوم شد که او در ریاضیات خوب بوده است، چیزی که کاملاً تصادفی به آن، می‌برد.

پسرانش را زمان‌بندی کند. او گفت: «من خسته شده‌ام. انجام کارهایی که ارزشمند، معنادار و خلاقانه است یا کاری که مشخصاً نمی‌خواهی انجام دهی، مثل زمان‌بندی همین ملاقات‌ها، وقت و انرژی زیادی از شما می‌گیرد.»

با توجه به سخنانش، درمی‌یابم که او معمولاً کنترلی روی چیزی که تصمیم می‌گیرد در این سه ساعت تمرکز کند، ندارد. تنها کاری که در چندماه از بهار سال ۲۰۱۹ انجام داد، فقط مطالعه بود. او علاقه داشت کتاب‌هایی که در جوانی با آن‌ها مواجه شده بود را بازخوانی کند، از جمله کتاب تأملات^۳ اثر مارکوس اورلیوس^۴ امپراتور روم، و چندین رُمان از نویسنده آلمانی، هرمان هسه^۵، و این کار را انجام داد. هو گفت: «در حقیقت در این مدت من هیچ کاری انجام نداده‌ام، بنابراین این خودش یک مشکل بود.» (با این حال، او از آن زمان، با این محدودیت کنار آمده بود. او می‌گوید: «من قبلاً سعی می‌کردم پافشاری و مقاومت کنم، اما سرانجام یاد گرفتم از این کار دست بردارم، در نتیجه من روزبه‌روز در نادیده گرفتن محدودیت‌های زمانی بهتر و بهتر شدم.»)

او متوجه شد که مجبور کردن خودش برای انجام کاری یا تعریف هدفی خاص، حتی برای چیزهایی که لذت می‌برد، هرگز کارساز نیست. برای او دشوار است که تمرکزش را از چیزی به چیز دیگر منتقل کند. او می‌گوید: «من فکر می‌کنم به تصمیم و نیروی اراده، بیش از حد اهمیت داده شده است. شما به‌ندرت با آن‌ها به چیزی دست می‌یابید.»



یادداشت‌های چون هو از یک سخنرانی اخیر

او از دوران جوانی، این‌طور بوده است. او در سال ۱۹۸۳ در کالیفرنیا به دنیا آمد، جایی که والدینش در حال اتمام تحصیلات

زیبایی حقیقی

شش سال طول کشید تا هو دانش‌آموخته شود. در سال ششم، در کلاسی ثبت نام کرد، که توسط ریاضی‌دان مشهور ژاپنی، هیسوکا هیروناکا^۶، برندهٔ مدال فیلدز سال ۱۹۷۰، تدریس می‌شد. هیروناکا شخصیتی جذاب داشت. هو، به سرعت به عقیده‌های او متمایل شد، اما این، تنها جذابیت استادش نبود که او را در همان روز اول کلاس، جذب کرد، بلکه جذابیت خود ریاضی هم بود. ظاهراً این درس، مقدمه‌ای بر هندسهٔ جبری، مطالعهٔ معادلات جبری و ویژگی‌های هندسی آن بود. به جای آن، هیروناکا کار خود را در زمینه‌ای به نام نظریهٔ تکینگی که بر انواع خاصی از فضاها تمرکز دارد، تدریس کرد. هو گفت: «در اصل، در مورد چیزهایی که دیروز در مورد آن فکر کرده است، تدریس کرد.» یک مسئلهٔ بسیار خاص و شواهدی که لزوماً درست نبودند. چیزی که با یک کلاس، با ۲۰۰ دانشجو شروع شد، به سرعت تحلیل رفت و چند هفته بعد تنها ۵ دانشجو باقی ماندند که هو در میان آن‌ها بود.

او برای اولین بار، شاهد آشکارشدن تحقیقات ریاضی، در لحظه بود. تدریس هیروناکا مانند سایر درس‌های دورهٔ لیسانس، که همه چیز ساده بود و پاسخ‌ها از قبل مشخص بودند، نبود. هو عاشق همین هیجان بود، تلاش برای انجام کاری که، هیچ کس واقعاً نمی‌دانست چگونه انجام می‌شود و حس رهایی که، با این ندانستن می‌آمد و شگفتی‌هایی که ممکن می‌شود. هو گفت: «اصول کلی که در کالج تدریس می‌شوند در طی قرن‌ها اصلاح شده است، آن‌ها با مشاهدات ریاضیات خاصی که در مقابل چشمان شماست، بسیار متفاوت است.»



در محوطهٔ دانشگاه پرینستون

هو متوجه شد که این نوع ریاضیات می‌تواند چیزی را به او بدهد که شعر قادر به آن نیست. توانایی جستجوی زیبایی در خارج از

خودش، تلاش برای فهم چیزی بیرونی، عینی و واقعی، در مسیری که ذهنش را بیشتر از نوشتن باز می‌کند. او گفت: «شما به خود کوچک خود، فکر نمی‌کنید و جایی برای منیت وجود ندارد.» او دریافت برخلاف زمانی که یک شاعر بود، انگیزه و هدفش قابل شناسایی و تشخیص نیست. او فقط می‌خواهد ریاضی بخواند.

شاید هیروناکا با فهمیدن این موضوع، زیر بال‌وپر جون هو را گرفت. هو، پس از دانش‌آموختگی و شروع دورهٔ کارشناسی ارشد در دانشگاه ملی سئول، جایی که او با نایونگ کیم^۷، همسر فعلی‌اش آشنا شد، زمان زیادی را با هیروناکا گذراند. در اوقات فراغت، به دنبال استاد به ژاپن برگشت و با او در توکیو و کیوتو می‌ماند، کیف‌هایش را حمل می‌کرد و وعده‌های غذایی خود را با او تقسیم می‌کرد و البته، به بحث در مورد ریاضیات ادامه می‌داد.

یک کشف غیرمنتظره

هو برای حدود ۱۲ موقعیت دکتری، در ایالات متحده درخواست داد، اما به دلیل سابقهٔ بدش در مقطع کارشناسی از همهٔ آن‌ها، به جز یکی رد شد. در سال ۲۰۰۹ تحصیلات خود را در دانشگاه ایلینویز^۸، آغاز کرد و در سال ۲۰۱۱ برای تکمیل دورهٔ دکتری خود به دانشگاه میشیگان منتقل شد.

علی‌رغم چالش‌ها، زندگی در کشور جدید، دوری از همسرش کیم (او برای دکتری ریاضیات در دانشگاه سئول ماند)، او تجارب خود در کارشناسی ارشد را دوست داشت و توانست خود را تماماً وقف ریاضیات کند، و از حس رهایی کاوش که در وهلهٔ اول او را به این سمت کشانده بود، لذت می‌برد.

هو، در مدت کوتاهی برجسته شد. او به عنوان یک دانشجوی کارشناسی ارشد در ایلینویز، حدسی را در نظریه گراف اثبات کرد، که برای ۴۰ سال حل نشده بود. در ساده‌ترین شکل، مسئله‌ای که به حدس رید^۹ شناخته شده است، مربوط به چندجمله‌ای است. یک چندجمله مثل $n^4 + 5n^3 + 6n^2 + 3n + 1$ که وابسته به گراف‌ها (مجموعه‌ای از رأس‌ها که توسط یال‌ها به هم متصل شده‌اند) است. به طور خاص، فرض کنید می‌خواهید رئوس گراف را رنگ‌آمیزی کنید، به طوری که هیچ دو رأس مجاور هم‌رنگ نباشند. با توجه به تعداد معینی رنگ که در اختیار دارید، راه‌های زیادی برای رنگ‌آمیزی گراف وجود دارد. به نظر می‌رسد که می‌توان محاسبهٔ تعداد کل حالات را، با استفاده از چندجمله‌ای رنگی^{۱۰} که برحسب تعداد رنگ‌های مورد استفاده نوشته می‌شود، انجام داد. ریاضی دانان پی بردند که ضرایب چندجمله‌ای رنگی، بدون توجه به گراف، همواره از الگوی خاصی

⁶ Heisuke Hironaka ⁷ Nayoung Kim ⁸ University of Illinois ⁹ Read's conjecture ¹⁰ Chromatic polynomial ¹¹ Unimodal

به نام وارسته جبری بود که می‌توان آن‌ها را به عنوان آشکالی در نظر گرفت که به وسیله معادلات خاصی تعریف می‌شوند. به طرز جالبی، اعدادی که به عنوان لگاریتم-مقر شناخته می‌شوند، وابسته به انواع خاصی از وارسته‌های جبری هستند، چیزی که هو فقط به دلیل مسیری که مطالعاتش او را به سمت آن سوق داده بود، می‌دانست. ایده کلی او، پیدا کردن راهی برای ساختن یک وارسته جبری بود، به طوری که اعداد وابسته، دقیقاً ضرایب چندجمله‌ای رنگی گراف سؤال اصلی بودند.

راه حل او، جامعه ریاضی را متحیر کرد. در آن برهه بود که دانشگاه میشیگان (که درخواست اولیه او را رد کرده بود) او را برای تحصیلات تکمیلی استخدام کرد.

دستاوردهای او چشمگیر و مؤثر بود، نه تنها به این دلیل که «حدس رید» را در حالی که در مدت طولانی کاملاً غیرقابل حل به نظر می‌رسید، حل کرد، بلکه او نشان داد موضوعی عمیق و هندسی، درون ویژگی‌های ترکیباتی گراف نهفته است.

ریاضی‌دانان نیز تحت تأثیر رفتار او قرار گرفتند. سخنان او در کنفرانس‌ها ملموس و واقعی بود. در صحبت با او، واضح بود که او عمیق و گسترده به مفاهیمی که با آن‌ها سروکار دارد، فکر می‌کند. متیو بیکر^{۱۳}، ریاضی‌دان مؤسسه فناوری جورجیا، می‌گوید: «او به طرز غیرمعقولی به عنوان یک دانشجوی کارشناسی ارشد، بالغ و کامل بود.» بعد از اینکه بیکر برای اولین بار با او ملاقات کرد گفت: «این پسر دیگر کیست؟!»

به گفته مرسیا ماستاتا^{۱۴}، استاد مشاور او در دانشگاه میشیگان، هو نیاز به هیچ راهنما و ناظری نداشت. برخلاف اکثر دانشجویان تحصیلات تکمیلی، از قبل برنامه‌ای در ذهن داشت و همچنین ایده‌هایی برای چگونگی پیگیری آن. ماستاتا گفت: «او بیشتر شبیه به یک همکار بود و روش خاص خودش را برای نگاه کردن به چیزها داشت.»

بسیاری از همکاران او خاطرنشان کردند که او بسیار متواضع و سربه‌زیر است. هو گفت: «وقتی متوجه شدم برنده مدال فیلدز شدم، واقعاً احساس خوبی نداشتم. البته که شما خوشحال می‌شوید، اما در اعماق وجودتان کمی نگران هستید که آن‌ها در نهایت بفهمند که شما واقعاً آن قدر هم خوب نیستید! من ریاضی‌دان خوبی هستم، اما آیا واقعاً شایسته مدال فیلدز هستم؟»

رهایی از فضا^{۱۶}

گراف‌ها در واقع نوعی شیء هستند که می‌توانند ساختار کلی تری به نام متروئیدها^{۱۷}، را تعریف کنند. به عنوان مثال، نقاطی را در یک

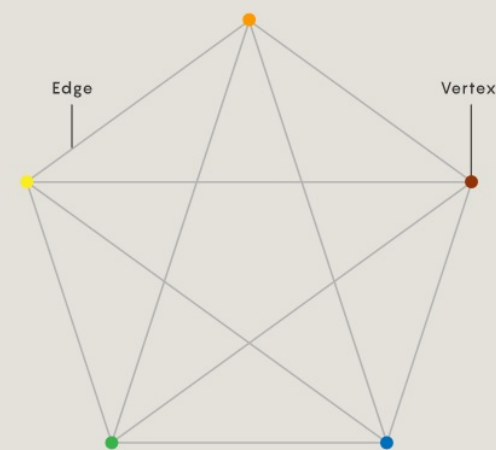
تبعیت می‌کنند. اولاً آن‌ها تک‌مدول^{۱۱} هستند، یعنی ابتدا افزایشی و سپس کاهش می‌یابند. چندجمله‌ای مثال قبلی را در نظر بگیرید. ضرایب این چندجمله‌ای یعنی ۱، ۵، ۶، ۳، ۱ یک دنباله تک‌مدول را تشکیل می‌دهند. علاوه بر این، یک دنباله لگاریتم-مقر^{۱۲} است (برای هر سه عدد متوالی در دنباله، مجذور عدد وسط، حداقل به اندازه حاصل ضرب عبارت‌های دو طرف آن است. مثلاً در چندجمله‌ای بالا داریم $6^2 \leq 3 \times 5$).

Color Count

As a graduate student, the mathematician June Huh proved that equations associated with graphs, called chromatic polynomials, satisfy certain properties.

CHROMATIC POLYNOMIALS

How many ways can you color a graph so that no two connected vertices have the same color? Given n colors, the graph's chromatic polynomial counts the number of possible colorings.



This graph's polynomial is:

$$C = n^5 - 10n^4 + 35n^3 - 50n^2 + 24n$$

Where n = number of colors

With fewer than 5 colors, the graph can't be colored and this equation sums to 0.

Take $n = 3$, for example:

$$(3)^5 - 10(3)^4 + 35(3)^3 - 50(3)^2 + 24(3) = 0$$

With 5 colors, this graph can be colored in 120 different ways:

$$(5)^5 - 10(5)^4 + 35(5)^3 - 50(5)^2 + 24(5) = 120$$

بالین حال، ریاضی‌دانان برای اثبات این ویژگی‌ها تلاش کردند و سپس، ظاهراً از دنیای دیگری، هو آمد.

به عنوان دانشجوی کارشناسی ارشد، هندسه جبری و نظریه تکینگی را نزد هیروناکا آموخت. موضوعات اصلی مطالعه او، زمینه‌ای

¹²log concave ¹³Matthew Baker ¹⁴Mircea Mustață ¹⁶Escape From Space ¹⁷matroids

ضرایب با ویژگی لگاریتمی-مقعر باشد. اما، شیوه‌ای که هو برای اثبات حدس رید به کار برد، فقط برای نشان دادن لگاریتمی-مقعر برای یک کلاس خیلی محدود از متروئیدها، مانند متروئیدهایی که از روی گراف به وجود می‌آیند، کار می‌کند.

هو با کمک ریاضی‌دانی به نام اریک کاتز^{۱۸}، کلاس متروئیدها را گسترش داد، به طوری که چنین اثباتی روی آن اعمال شود. آن‌ها مانند قبل یک شیوه را دنبال کردند. شیوه آن‌ها این بود که با موضوع موردعلاقه (در این جا متروئید) شروع شود و از آن برای ساختن یک واریته جبری استفاده شود. آن‌ها توانستند مفهومی به نام حلقه کوهومولوژی را ایجاد کنند و از برخی از ویژگی‌های آن برای اثبات لگاریتمی-مقعر استفاده کنند.

فقط یک مشکل وجود داشت. بیشتر متروئیدها هیچ نوع اساس هندسی ندارند، به این معنی که در واقع هیچ واریته جبری وابسته به آن‌ها وجود ندارد. به جای آن، هو، کاتز و کریم آدیپراسیتو^{۱۹}، روشی برای نوشتن حلقه کوهومولوژی، مستقیماً از متروئیدها و به طور اساسی از ابتدا، پیدا کردند. سپس با استفاده از مجموعه‌ای از روش‌های جدید نشان دادند که آن، طوری رفتار می‌کند که گویی واقعاً از یک واریته جبری آمده است در حالی که چنین نبوده است. با انجام این کار، آن‌ها لگاریتمی-مقعر را برای همه متروئیدها اثبات کردند، و مسئله‌ای که به حدس روتا^{۲۰} شناخته شده بود را، یک بار و برای همیشه حل کردند. بیکر گفت: «این فوق‌العاده زیباست، که آن کار می‌کند».

هو گفت: «این کار نشان داد که برای کار با هندسه، نیازی به فضا ندارید و این باعث شد که به طور اساسی در مورد هندسه تجدید نظر کنیم» و این موضوع، او را به سمت مسائل بسیاری هدایت کرد، به طوری که او برای پیشبرد ایده بعدی خود، طیف گسترده‌تری از روش‌ها را پیدا کرد.

با وجود تمام ویژگی‌هایی که نیاز بود، ساختن حلقه کوهومولوژی درست، به کار زیادی بر پایه حدس و گمان، و آزمودن در فضایی ناشناخته نیاز داشت. این جنبه از کار بود که هو از آن لذت می‌برد. او گفت: «هیچ اصل و راهنمایی وجود ندارد، هیچ هدف مشخص و واضحی نیست و شما فقط باید حدس بزنید» این فقدان تصمیم، دقیقاً منعکس‌کننده نحوه عملکرد او از زندگی روزمره خود او بود. گویی یک مسئله ریاضی را کشف کرده بود که کاملاً با شخصیت او مطابقت داشت. هو گفت: «یک بار دیگر متوجه شده‌ام که وقایع به خودی خود اتفاق می‌افتند».

صفحه دوبردی در نظر بگیرید. اگر بیش از دو نقطه، روی یک خط در این صفحه قرار داشته باشند، می‌توان گفت که این نقاط به هم وابسته هستند. متروئیدها اشیایی انتزاعی هستند که مفاهیمی مانند وابستگی و استقلال را در زمینه‌های مختلف از گراف، تا فضاهای برداری و میدان‌های جبری به تصویر می‌کشند.

What Is a Matroid?

Matroids are structures that capture the abstract concepts of independence and dependence. These concepts appear in many contexts, including graphs and sets of points.

GRAPH

POINTS IN THE PLANE

d and e lie on the same location

INDEPENDENCE

Independent sets of edges do not form a cycle, which is a closed loop.

In an independent set of points, no more than two points lie on the same line.

The subset {abd} is independent.

DEPENDENCE

Dependent sets of edges form a cycle.

If three or more points lie on the same line, the set of points is dependent.

The subset {bcd} is dependent.

THESE CASES GIVE RISE TO THE SAME MATROID

If certain properties are satisfied, the matroid consists of the initial set of elements {abcde} and the collection of all its independent subsets.

همان‌طور که گراف‌ها دارای چندجمله‌ای رنگی هستند، معادلاتی به نام چندجمله‌ای مشخصه وابسته به متروئید نیز وجود دارند. این حدس وجود دارد که چندجمله‌ای‌ها برای اشیاء کلی‌تر نیز باید دارای

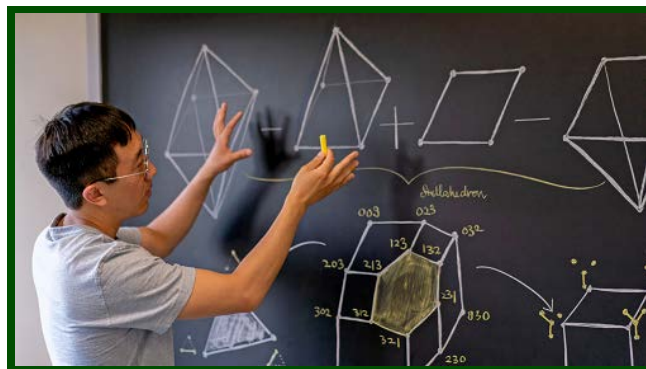
طول کشید تا استدلال بهتری ارائه دهند. آردیلا گفت: «خوب است که همه ما استخدام رسمی هستیم» با این حال در نهایت آردیلا و دنهام به این باور رسیدند که کار اضافی ارزشش را داشت. آردیلا گفت: «نتیجه نهایی آن‌ها کاملاً متفاوت و عمیق‌تر بود و به درون همه چیز رسیدند.»



هو مجموعه کوچکی از پلی‌تپ‌ها را نگه می‌دارد، اشیاء هندسی با سطوح صاف

این رویکرد، تنها برای مواقعی که هو با ریاضی کار می‌کرد، نبود. او در سال ۲۰۱۳، تصمیم گرفت که آشپزی یاد بگیرد. به عنوان یک مبتدی، او هر روز یک غذای یکسان، پاستای ساده در روغن^{۲۷}، را می‌پخت، تازمانی که بی‌عیب و نقص و تمام عیار شود. برای مدت شش ماه، این تمام کاری بود که او انجام می‌داد. به گفته کیم تا به امروز، این تنها غذایی است که او می‌داند چگونه بپزد.

کل زندگی هو، بر مبنای تکرار ساخته شده است. او گفت: «تقریباً تمام روزهای من یکسان است و من تحمل بسیار بالایی برای تکرار دارم.» هو در خوابیدن مشکل دارد و معمولاً ساعت ۳ صبح از خواب بیدار می‌شود، به باشگاه می‌رود و سپس با همسر و پسرانش صبحانه می‌خورند. یکی از پسرانش هشت‌ساله و دیگری به‌تازگی یک‌ساله شده است. قبل از رفتن به دفترش در پرینستون، فرزند بزرگش را به مدرسه می‌برد.



کار هو شامل بررسی خواص مترونیدها است. این ساختارهای انتزاعی گاهی می‌توانند از اجسام هندسی ناشی شوند.

قلب اشیاء^{۲۲}

او به آرامی سخن می‌گوید، اغلب مکث می‌کند و کلماتش را بادقت انتخاب می‌کند و به شیوه‌ای آرام و مسالمت آمیز، نگهدار و مراقب سخنان خودش است. بوتونگ وانگ^{۲۳}، ریاضی‌دان دانشگاه ویسکانسین^{۲۴}، که در تعدادی از نتایج مهم اخیر با هو همکاری کرده است، می‌گوید: «او به سادگی هیجان‌زده نمی‌شود.»

او این روال را به‌طور حساب‌شده‌ای، وقتی که با ریاضیات کار می‌کند، پیش می‌گیرد. وانگ، زمانی که برای اولین بار او را دید، شوکه شد. او گفت: «من تجربه مسابقه ریاضی را دارم، که به‌عنوان یک ریاضی‌دان باید باهوش و سریع باشیم، اما جون هو برعکس بود. اگر با او پنج دقیقه در مورد یک مسئله حساب دیفرانسیل و انتگرال صحبت کنید، گمان می‌کنید که این شخص در آزمون ورودی قبول نمی‌شود. او خیلی کند است.» در واقع آن قدر کند بود که وانگ در ابتدا فکر می‌کرد، که زمان زیادی را برای مسائل آسانی که از قبل فهمیده بودند تلف خواهد کرد. اما بعد متوجه شد، که هو مفاهیم بسیار ساده را با روشی بسیار عمیق فرامی‌گیرد، دقیقاً به روشی که بعداً مفید واقع می‌شود.

گراهام دنهام^{۲۵}، ریاضی‌دان دانشگاه وسترن در انتاریو^{۲۶} و یکی از همکاران هو، گفت: «جون دوست دارد کارها را به‌طور درست انجام دهد.»

به‌عنوان مثال، دنهام، آردیلا و هو یک اثبات ۵۰ صفحه‌ای در مورد مسئله‌ای نزدیک به حدس روتا را تکمیل کرده بودند، که هو گفت آن‌ها باید زمان بیشتری برای یافتن رویکردی کوتاه‌تر و جذاب‌تر بگذارند. هو بر این باور بود که توضیح بهتری وجود دارد و اینکه بهتر است در این کار عجله نکنند. دنهام گفت: «من و فدریکو می‌گفتیم، اوه بسیار خوب!! آیا ما الان باید این مسئله را نقض کنیم؟! دو سال

²²The Heart of Things ²³Botong Wang ²⁴University of Wisconsin ²⁵Graham Denham ²⁶Western University in Ontario ²⁷a simple pasta in oil

من بود و من نمی‌خواستم انرژی ذهنی‌ام را برای اینکه بفهمم چگونه از اینجا به آنجا بروم هدر دهم.» به جای آن، به یک داروخانه در همان حوالی رفت و ۱۰ مربع پارچه‌ای و یک منگنه بزرگ خرید و مربع‌ها را به هم چسباند تا یک پتو بسازد.

او ماه‌ها با پیتزاهای یخ‌زده زندگی می‌کرد، زیرا نمی‌خواست با تهیه مواد غذایی و آشپزی سروکار داشته باشد. فقط می‌خواست ریاضی بخواند. هو آن دوره از زندگی خود را تقریباً رهبانی توصیف می‌کند. در واقع در آن زمان تنها یک‌بار در هفته فقط با استاد مشاورش صحبت می‌کرد.

کیم زمانی که هو را در ایلینویز دیده بود را به یاد می‌آورد و می‌گوید: «بعد از آن، من واقعاً در مورد روابطمان تجدید نظر کردم. آیا باید ازدواج کنم؟!» چون نمی‌تواند مهارت‌های ابتدایی و واقعی زندگی را مدیریت کند.

اما در سال ۲۰۱۴ با هو ازدواج کرد. آن‌ها به پرینستون، جایی که هر دو در مؤسسه مطالعات پیشرفته شروع به کار کرده بودند، نقل مکان کردند. این اولین باری بود که کیم، در ایالات متحده زندگی می‌کرد. او از انجام برخی کارهایش به زبان انگلیسی احساس ناراحتی می‌کرد، او مجبور بود برای انجام برخی از کارها به هو وابسته باشد. هو گفت: «اجازه دهید که بگویم، او از من ناامید شده بود.»

همان سال، کیم اولین پسرشان، دن، را به دنیا آورد. کیم در زمان زایمان هم، هو را در حال ریاضی‌ورزی یافت.

هو گفت: «همسرم بسیار متعادل‌تر از من است. زندگی جنبه‌های بسیار زیادی دارد و ریاضی بخش خیلی، خیلی، خیلی کوچکی از آن است.» کیم گفت: «من یک کارگر واقعی هستم و او یک متفکر است.»

کیم افزود، از آن زمان، هو به شدت و به‌طور محسوسی بهتر شده است. هو گفت: به‌عنوان زوجی که دن را بزرگ می‌کردند، من یاد گرفتم چگونه زندگی متعادل‌تری داشته باشم و این یک دوره دگرگون‌کننده بود. او زمان زیادی را با دن می‌گذراند، برای او نقاشی می‌کشد، مسائلی که دن در کتاب کارهای ریاضی پیچیده خود روبه‌رو می‌شود را حل می‌کند، او را به کتاب‌فروشی و سایر مکان‌های محلی می‌برد و حتی کارهای لجستیکی که کیم از او می‌خواهد را انجام می‌دهد، البته با اکراه!! او گفت: «من هنوز این کارها را دوست ندارم، اما اعتقاد دارم که نمی‌توانیم فقط با پتوهای منگنه کرده زندگی کنیم.»

اکنون هو، حتی قادر است از ریاضیات فاصله بگیرد. هنگامی که او در اوقات فراغت است، ذهنش دیگر به کار کردن روی مسئله‌ها باز



در کتابخانه علمی لوئیس پرینستون

دفترش به‌صورت زاپاس است و عملاً خالی است. در آن، یک میز بزرگ و یک کاناپه برای خواب وجود دارد. هو معمولاً چرت نیمروزی می‌زند. یک تشک یوگا روی زمین پهن شده است، او گفت: «فقط برای درازکشیدن است و درواقع او حتی نمی‌داند چه‌طور یوگا انجام دهد.» بدون کتاب، فقط چند دسته کاغذ، به‌طور مرتب، روی یک قفسه کنار دیوار چیده شده است. در گوشه‌ای یک جاروبرقی است. هو فعالیت‌های تکراری و فعالیت‌هایی که نیاز به فکر کردن ندارند، مانند نظافت، شستن ظروف، و عمل فیزیکی مانند رونویسی مطالبی که می‌خواند در دفتر یادداشتش را دوست دارد.

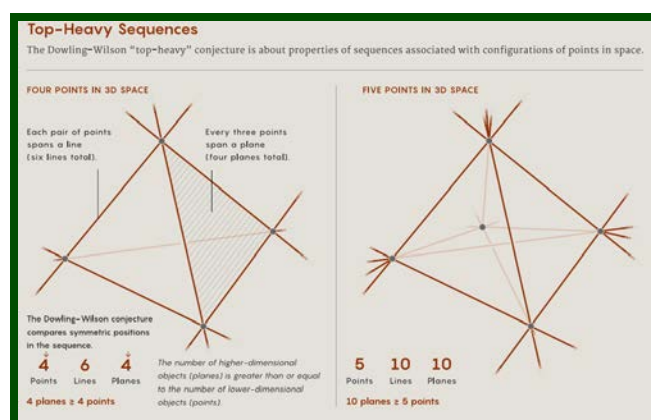
اغلب در بخش کودک یک کتابخانه عمومی، جایی که بسیار پرسروصدا است، کار می‌کند. او گفت: «من مکان‌های ساکت را دوست ندارم و باعث خواب‌آلودگی من می‌شود.» این را در مورد خیلی چیزهای دیگر هم می‌گوید.

او هرروز بعد از ناهار، به یک پیاده‌روی طولانی می‌رود. سپس قبل از رفتن به خانه به دفتر خود باز می‌گردد، تا کارهای بیشتری انجام دهد (مگر آنکه قبلاً سهمیه سه ساعته خود را تکمیل کرده باشد). بقیه روز را با خانواده‌اش می‌گذراند و همه آن‌ها حدود ساعت نه شب باهم در یک تخت بزرگ می‌خوابند.

ارجحیت‌دادن او به روزمرگی‌هایش و احساس بی‌رمقی در زمانی که چیزی او را از روزمرگی‌هایش منحرف می‌کرد، گاهی اوقات به شیوه مفراطی ظاهر می‌شود. به‌عنوان مثال، هنگامی که در حال تکمیل دوره دکتری خود در میشیگان بود، هو گفت: «تقریباً همه چیزهای دیگر را قطع کرده بودم.» زمانی که او برای اولین بار به آن آربر^{۲۸} نقل مکان کرد، خود را برای زمستان به‌طرز بی‌رحمانه‌ای فاقد تجهیزات یافت، او وسایل بسیار کمی داشت. به یک پتو نیاز داشت، اما وقتی به‌دنبال چگونگی رسیدن به مرکز خرید محلی بود، متوجه شد از نظر مسافت برای او دشوار است. او گفت: «این فراتر از تحمل

گورت دی بروژن^{۳۳} نشان دادند که تعداد خطوط همواره بزرگتر یا مساوی تعداد نقاط است (مگر اینکه همه نقاط روی یک خط قرار بگیرند). برای مثال، چهار نقطه را در نظر بگیرید که در گوشه‌های یک مربع چیده شده‌اند، خطوط مربع را رسم کنید و گوشه‌های مخالف را به هم وصل کنید. در مجموع به شش خط می‌رسید.

حس سرسنگین این ایده را تعمیم می‌دهد. به جای یک صفحه، یک مجموعه از نقاط در فضایی با ابعاد بالاتر به شما داده می‌شود. همه خطوطی که این نقاط را به هم متصل می‌کنند و صفحاتی که با مجموعه‌های سه‌نقطه‌ای ایجاد شده‌اند و فضاهای سه‌بعدی که با چهار نقطه ساخته شده‌اند و غیره را در نظر بگیرید. حالا به دنباله‌ای فکر کنید که از این اعداد ساخته شده‌اند: تعداد نقاط، تعداد خطوط، تعداد صفحات. اعداد را در موقعیت‌های متقارن با هم مقایسه کنید. (اعداد اول و آخر، اعداد دوم و ماقبل‌آخر و غیره). عدد مربوط به فضای ابعاد بالاتر، حداقل به همان اندازه بزرگ خواهد بود، یعنی دنباله سنگین-بالا است. (حس زده شده است که این دنباله نیز لگاریتمی-مقعر هست، اما هنوز اثبات نشده است. هو و وانگ نشان دادند که نیمه اول این دنباله تک‌مدولی است.)



هو و وانگ ایده‌هایی را، از کار هو بر روی حس روتا اقتباس کردند، اما برای انجام این کار مجبور شدند مسائل بیشتری را حل کنند. آن‌ها دوباره با متروئیدها، وارسته‌های جبری و حلقه‌های کوهومولوژی کار کردند. اما این بار وارسته‌های جبری که آن‌ها باید پیدا می‌کردند یکتا هم بود، مکان‌هایی که وقتی آن را بزرگ‌نمایی کنید، فضا نسبت به نقاط دیگر متفاوت به نظر می‌رسد. این امر، ساخت فضاهای مناسب و اثبات ویژگی‌های خاص حلقه کوهومولوژی را بسیار پیچیده‌تر کرد، و حتی برای حل این مورد مجبور بودند، آن حلقه‌ها را بدون وارسته‌های جبری که آن‌ها را راهنمایی کند، مستقیماً از روی متروئیدها بسازند.

نمی‌گردد، و این توانایی را دارد که وقتی چیز دیگری به او نیاز دارد، استراحت کوتاه کند.

کیم گفت: «هو یک فرد کاملاً متفاوت شده است.»

سرسنگین^{۳۰}

به هر حال برخی چیزها تغییر نکرده است. هو هنوز هم، فقط می‌تواند انرژی کافی برای کار کردن برای چند ساعت در روز را فراهم کند. کیم می‌گوید: «دیگران یک ساعت کار می‌کنند و پنج دقیقه استراحت، اما هو مثل این است که، یک ساعت کاری دیگر را انجام می‌دهد و فقط ۵ یا ۱۰ دقیقه روی کار مورد نظر تمرکز می‌کند.» جستجوی او برای زیبایی تغییر نکرده است. او اغلب به سؤالاتی در مورد لگاریتمی-مقعر یا مفاهیم مشابه، به عنوان راهی برای کشف زیبایی رجوع می‌کند.



به عنوان مثال، هو و سایر همکارانش به تازگی یک مسئله اساسی، در مورد پیکربندی نقاط، خطوط و صفحات را به نام حس «سرسنگین» داولینگ-ویلسون^{۳۱} اثبات کردند. مجموعه متناهی از نقاط در صفحه را در نظر بگیرید. جایی که هر زوج از نقاط به وسیله یک خط به هم متصل شده‌اند. ریاضی دانان پال اردوش^{۳۲} و نیکلاس

³⁰Heavy on Top ³¹Dowling-Wilson top-heavy conjecture ³²Paul Erdős ³³Nicolaas Govert de Bruijn

کلیک کردن ارتباط^{۳۷}

زمانی که هو کار می‌کند، برای او چیزی تقریباً به‌صورت ناخودآگاه، در جریان است. در واقع او معمولاً نمی‌تواند پی‌ببرد که چگونه و چه‌زمانی ایده‌ها به سراغش می‌آیند. او جرقه‌های فهمیدن ناگهانی ندارد، در عوض، او می‌گوید: «در یک لحظه، شما متوجه می‌شوید که، اوه! من این را می‌دانم.» شاید هفته گذشته چیزی را متوجه نشده بود، اما اکنون بدون هیچ ورودی اضافه، قطعات بدون اینکه متوجه شوند، در جای خود قرار می‌گیرند. آن را به‌روشی تشبیه می‌کند که ذهن شما می‌تواند شما را غافل‌گیر کند و زمانی که در حال رؤیا دیدن هستید، ارتباطات غیرمنتظره ایجاد کند. هو گفت: «این شگفت‌انگیز است که ذهن انسان چه توانایی‌هایی دارد، و این خوب است که اعتراف کنیم، نمی‌دانیم چه اتفاقی در حال رخ دادن است.»

شاید هو با هنرمند درون خود صحبت می‌کند. او امیدوار است که به کشف ارتباطات غیرمنتظره بین حوزه‌های مختلف ریاضی ادامه دهد.

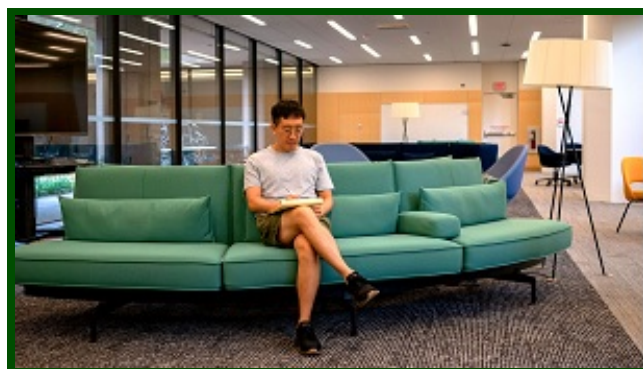
بیکر گفت: «هو فقط چشم‌انداز برنامه اصلی، که قبلاً به‌عنوان دانشجوی تحصیلات تکمیلی بوده است را دنبال می‌کند. بسیار جالب خواهد بود که ببینیم، حد و حدودها چیست.»

هو تا به‌حال به آن هدف نرسیده است، و ریاضی‌دانان مطمئن هستند که او به ساختن چیزهای زیبا ادامه خواهد داد.

زمانی که از او پرسیدند، آیا همانند قبل حرفه هنری‌اش را می‌پذیرد، و دوباره سعی می‌کند که شعر بنویسد، او شانه بالا انداخت و گفت: «شاید، نمی‌دانم.» من به خیلی چیزهای دیگر علاقه دارم.

*Jordana Cepelewicz, [He Dropped Out to Become a Poet. Now He's Won a Fields Medal](#), *Quanta Magazine*, July 2022.

*دانشگاه یزد



در طی پنج سالی که آن‌ها صرف حل این مسئله کردند، هو همچنین شروع به بررسی راهی برای تکمیل شکاف هندسه پیدا کرد. بسیاری از کارهای او تا آن زمان، شامل کار طاقت‌فرسای ساختن حلقه‌های کوهومولوژی دقیقی بود، که یک مسئله به آن نیاز داشت. علاوه‌براین زمانی که یک کوهومولوژی هم پیدا شد، ریاضی‌دانان باید ثابت کنند که ویژگی‌های خاصی را برآورده می‌کند، که همین امر ممکن است سال‌ها طول بکشد.

نظریه جدیدی که او همراه با پیتر براندن^{۳۴} توسعه داد، توانست این روش‌ها را به‌طور کامل دور بزند. این نظریه به آن‌ها اجازه داد که مسئله‌ای به نام حدس قوی میسون^{۳۵} را حل کنند (که سؤالاتی در مورد تعداد مجموعه‌های مستقل در متروئید می‌پرسد).

ریاضی‌دانان دیگری از آن برای اثبات مجدد حدس روتا به‌روشی ساده‌تر استفاده کردند. اما مهم‌تر از آن، دری است که برای یافتن مسائل جدید باز می‌کند و توضیحات عمیق‌تری برای اینکه چرا همه گزاره‌های لگاریتمی-مقعر درست هستند، ارائه می‌کند، و با مسائلی در علوم کامپیوتر نظری با روش‌های جذابی که به‌تازگی در حال بررسی است تلافی می‌کند.

³⁴Petter Branden ³⁵Strong Mason conjecture ³⁷Click of the Connection