

ویژگی بافتاری کوانتمی*



سلیمان ابوالفتح بیگی*

شما مطمئن هستید که همه این کیت‌ها توسط یک دستگاه و با یک روش ساخته شده‌اند. پس نتیجه می‌گیرید که رنگ لامپ‌ها توسط دستگاه سازنده به طور تصادفی انتخاب شده‌اند. ولی با آزمایش کیت‌های بیشتر می‌بینید که رنگ لامپ‌ها کاملاً هم تصادفی نیستند. مثلاً شما هیچ‌گاه سه لامپ سبز در یک سطر مشاهده نمی‌کنید. اتفاق مشابهی برای ستون اول و دوم نیز می‌افتد. به طور دقیق‌تر در یک سطر یا دو لامپ سبز دیده می‌شود و یک لامپ قرمز، و یا هر سه لامپ قرمز دیده می‌شوند. وضعیت ستون اول و ستون دوم نیز مشابه است. ولی ستون سوم الگوی دیگری دارد؛ در ستون سوم گاهی یک لامپ سبز دیده می‌شود و دو لامپ قرمز، و گاهی هر سه لامپ سبز دیده می‌شوند. برای به خاطر سپردن این الگوها می‌توان فقط زوجیت (زوج یا فرد بودن) تعداد لامپ‌های سبز را در نظر گرفت.

تعداد رنگ‌های سبز مشاهده شده در هر سه سطر و همچنین ستون اول و دوم زوج است. ولی تعداد رنگ‌های سبز ستون سوم همواره فرد است.

به نظر می‌آید که همه خصوصیت‌های کیت مشخص شده‌اند. حال می‌توانید به ساخت آن فکر کنید. باید روی هر کیت ۹ لامپ قرمز یا سبز و ۶ کلید قرار دهید به طوری که فقط برای یک بار قابل استفاده باشد و زوجیت لامپ‌های سبز رنگ در هر سطر و هر ستون مطابق الگوی بالا باشد. ولی کمی تأمل می‌کنید. اگر این کار امکان‌پذیر باشد باید تعداد زوجی از لامپ‌ها سبز باشد چرا که در هر سطر تعداد زوجی لامپ سبز باید به کار برده شود. پس در مجموع تعداد کل لامپ‌های سبز زوج است. از طرف دیگر در ستون اول و دوم تعداد زوجی لامپ سبز باید باشد و در ستون سوم تعدادی فرد. بنابراین تعداد کل لامپ‌های سبز باید فرد باشد که این تناقض است؛ تعداد لامپ‌های سبز زوج بوده یا فرد؟ شرکت رقیب چطور توانسته این قطعه الکترونیکی را بسازد؟

فرض کنید که در یک شرکت الکترونیکی کار می‌کنید. روزی رئیس شما محصولی از شرکت رقیب می‌آورد و از شما می‌خواهد که جزئیات ساخت آن را به دست بیاورید. محصول یک کیت الکترونیکی است که روی آن ۹ لامپ کوچک در ۳ سطر و ۳ ستون قرار گرفته است، یعنی ۹ لامپ در یک شبکه 3×3 . علاوه بر لامپ‌ها شش کلید نیز روی کیت است: یک کلید کنار هر سطر از لامپ‌ها و یک کلید بالای هر ستون از لامپ‌ها. با کنجکاوای کلید سطر اول را فشار می‌دهید. سه لامپ سطر اول روشن و بعد از چند ثانیه خاموش می‌شوند: دو تا از آنها با رنگ سبز و یکی با رنگ قرمز. تلاش می‌کنید که کلید دیگری را فشار دهید ولی اتفاقی نمی‌افتد. حتی کلید سطر اول دیگر کار نمی‌کند. به نظر می‌رسد که کیت طوری ساخته شده که با یک بار فشار دادن یکی از کلیدها و روشن شدن بعضی از لامپ‌ها غیر قابل استفاده می‌شود. لذا از رئیس شرکت درخواست می‌کنید که کیت‌های دقیقاً مشابهی برای شما تهیه کند. حال سعی می‌کنید که نتایج آزمایش‌های خود را دقیق‌تر ثبت کنید. هر بار یک کیت جدید بر می‌دارید و یکی از کلیدهای آن را فشار می‌دهید. مشاهده می‌کنید که با فشار دادن کلید متناظر یک سطر یا یک ستون، لامپ‌های آن سطر و یا آن ستون برای چند لحظه با رنگ‌های سبز یا قرمز روشن و پس از چند لحظه خاموش می‌شوند. بنابراین الگوی روشن شدن لامپ‌ها چیز پیچیده‌ای نیست: هر کلید فقط سه لامپ متناظرش را روشن می‌کند. ولی الگوی رنگ لامپ‌ها به نظر پیچیده می‌آید. برای مثال با فشار دادن کلید سطر اول گاهی دو رنگ سبز و یک رنگ قرمز، و گاهی سه رنگ قرمز دیده می‌شود. در واقع رنگ لامپ‌ها در کیت‌های مختلف متفاوت است و به نظر تصادفی می‌آید.

* این نوشتار برداشتی است از مقاله سال ۲۰۰۸ دیوییکن (Dave Bacon) در همین زمینه.
• پژوهشکده ریاضیات

کمیت فیزیکی متناظر با یک عملکرد خطی (ماتریس) است. یک مجموعه از کمیت‌ها تشکیل یک بافت می‌دهند اگر عملگرهای متناظر با آنها با هم جابه‌جا شوند. نکته در این است که کمیت‌های عملگرهایی که با هم جابه‌جا می‌شوند به طور همزمان قابل اندازه‌گیری هستند و لذا تشکیل یک بافت می‌دهند. حال نکته در این است که می‌توان ۹ ماتریس (مثلاً چهار در چهار) با مقادیر ویژه ± 1 یافت و در خانه‌های یک شبکه 3×3 قرار داد به طوری که اولاً سه ماتریس هر سطر و هر ستون با هم جابه‌جا شوند و تشکیل یک بافت دهند و ثانیاً حاصل ضرب ماتریس‌های هر سطر و ستون اول و دوم برابر با ماتریس همانی I ، و حاصل ضرب سه ماتریس ستون سوم برابر $I - I$ شود. این کار به طور کلاسیک امکان‌پذیر نیست، یعنی نمی‌توان خانه‌های یک شبکه 3×3 را با اعداد ± 1 پر کرد به طوری که حاصل ضرب اعداد هر سطر و ستون‌های اول و دوم یک، و حاصل ضرب اعداد ستون سوم منفی یک شود.

ویژگی بافتاری کوانتومی برای اولین بار توسط کوکن و اسپیکر^۳ در سال ۱۹۶۷ نشان داده شد و اثباتی بود بر رد نظریهٔ متغیرهای نهان^۴ اینشتین، بودولسکی و روزن. مثال فوق از ویژگی بافتاری کوانتومی به مربع جادویی مرمین-پرس^۵ معروف است.

3. Kochen and Specker 4. hidden variables 5. Mermin-Peres magic square

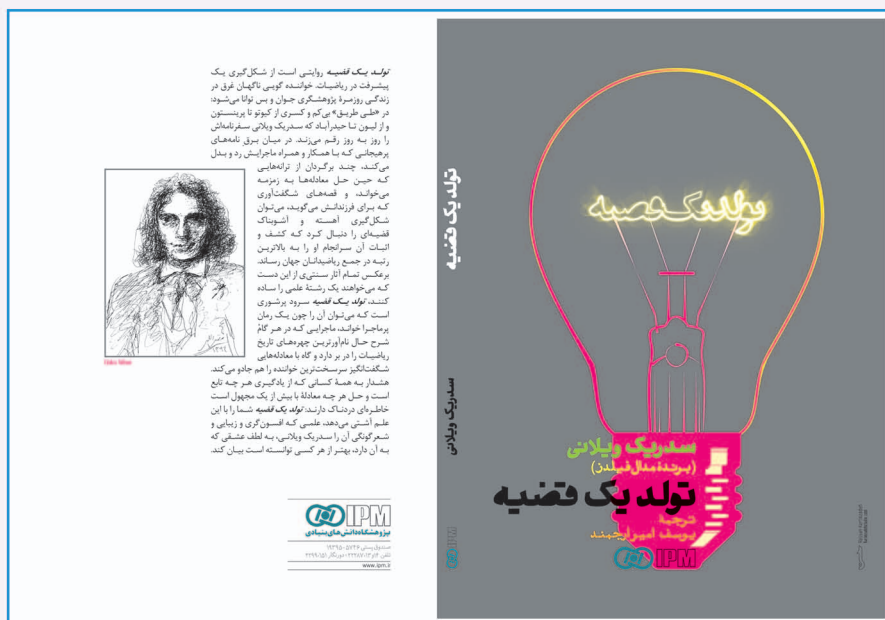
واقعیت این است که در دنیای فیزیک کلاسیک ساخت کیتی که در بالا توصیف شد امکان‌پذیر نیست. شما در بالا فرض کردید که هر لامپ پیش از استفاده از کیت و فشار دادن یکی از کلیدهای آن یک رنگ مشخص (سبز یا قرمز) دارد و به تناقض رسیدید. ولی در فیزیک کوانتومی چنین نیست. در فیزیک کوانتومی لامپ‌ها پیش از روشن شدن یک رنگ مشخص (که از قبل و در هنگام ساخت تعیین شده باشد) ندارند. رنگ آنها فقط در هنگام فشار دادن یک کلید مشخص می‌شود، و البته نه رنگ همهٔ آنها بلکه رنگ فقط سه تای آنها. به این خاصیت در فیزیک کوانتومی، ویژگی بافتاری کوانتومی^۱ گفته می‌شود. به بیان دقیق‌تر در یک اندازه‌گیری کوانتومی نه تنها حاصل آزمایش تصادفی است، بلکه متأثر از نوع اندازه‌گیری نیز هست. در مثال فوق ما ۹ کمیت (رنگ ۹ لامپ) و ۶ بافت^۲ (متناظر با ۶ کلید) داریم. هر بافت ۳ کمیت از ۹ کمیت ما را مشخص می‌کند، و برای مشخص کردن هر کمیت (رنگ یک لامپ) می‌توان از دو بافت استفاده کرد (متناظر با یک کلید سطری و یک کلید ستونی). حال نکته در این است که در دنیای کوانتومی یک کمیت نه تنها تصادفی است، بلکه متأثر از این است که در قالب چه بافتی (با استفاده از کدام کلید) اندازه‌گیری می‌شود. فیزیک کوانتومی برخلاف فیزیک کلاسیک و برخلاف شهود ما از دنیا، بافتاری است.

بگذارید ریاضیات این پدیده را کمی بررسی کنیم. در فیزیک کوانتومی هر

1. quantum contextuality 2. context

تولد یک قضیه. سدریک ویلانی.
ترجمهٔ یوسف امیرارجمند. پژوهشگاه
دانش‌های بنیادی. تهران، ۱۳۹۳. ۲۴۴
ص. ۱۵۰۰۰ تومان.

کتاب *Théorème vivant* که ترجمهٔ فارسی آن با عنوان «تولد یک قضیه» منتشر شده، حکایت جذاب یک پژوهش ریاضی است از آغاز تا انجام آن، با همهٔ فراز و نشیب‌هایش. نویسندهٔ آن سدریک ویلانی (Cédric Villani) ریاضیدان برجستهٔ فرانسوی و برندهٔ مدال ریاضی فیلدز در سال ۲۰۱۰ است که در این کتاب تجربهٔ شخصی خود را از یکی از مهمترین پژوهش‌هایش که این مدال را نصیب او کرد بازگو می‌کند. کتاب در عین حال بازگوکنندهٔ احوال پژوهشگر در طی این مسیر دشوار است: امیدها،



نامیدی‌ها، هیجان‌ها، اضطراب‌ها، سرخوشی پیروزی، زندگی خانوادگی، سفرها، و البته کار و کار و باز هم کار. تصویرهای زنده و گویایی که نویسنده از حال و هوای محیط پژوهشی و از پژوهشگران نامدار در بعضی مراکز علمی معتبر ارائه می‌کند برگزینی این متن افزوده است.

کتاب ویلانی به چندین زبان ترجمه شده و در جامعهٔ جهانی ریاضی از اقبال بسیار برخوردار شده است. مرکز اطلاع‌رسانی پژوهشگاه دانش‌های بنیادی ترجمهٔ فارسی این کتاب را — در قالب برنامه‌های این مرکز برای بزرگداشت بیست و پنجمین سالگرد تأسیس پژوهشگاه — منتشر کرده است. علاقه‌مندان به خرید این کتاب می‌توانند با تلفن شمارهٔ ۲۳۱۰ داخلی ۲۱۲۰، خانم تقوی، تماس بگیرند.