خوابی که تعبیر شد

هانس کریستیان فون بایر

در سپتامبر ۱۸۵۰ هنگامی که ککوله دانشجویی جوان در رشته معماری بود به دادگاهی در شهر گیسن فراخوانده شد تا در برابر هیئت داوران در بارهٔ روشن کردن قضیهٔ مرگ اسرارآمیز خانم گورلیتس، زن اشرافی همسایه‌شان، دادگاه را یاری بخشد. جسد سوختهٔ این خانم را چند هفته پیش از آن در اتاقی دست نخورده از منزلش یافته بودند. برخی گمان داشتند که علت مرگ وی آتشگیری خود به خود بدن او بر اثر نوشیدن بیش از حد الکل بوده‌است.

درمیان کسان‌دیگری که برای گشودن این‌معما به‌دادگاه دعوت شده‌بودند یك متخصص شیمی آلی به نام لیبیگ بودکه به‌عنوان صاحب‌نظر، دادگاه راکمك می‌کرد. وی‌اعلام داشت که‌آتشگیری خودبه‌خودی بافت انسانی امری است غیر ممکن، زیرا به اعتقاد وی پیش ازآنکه فردی توانسته باشد آن همه الکل بنوشد، براثر مسمومیت ناشی از آن مرده است.

در بازجویی ازککوله درمورد خدمتکاران خانم گورلیتس به‌ویژه از مردی به‌نام اشتاوف پرسشهایی به‌عمل آمد. این مرد را هنگام فروش‌اشیای مسروقه دستگیر کرده بودند و در میان اشیای دزدیده شده انگشترزرینی‌بود مرکب از دومار به‌هم پیچیده‌که هرکدام دم خود را به‌دهان فرو برده بود و این علامتی ازکیمیاگران برای وحدت و تنوع ساده محسوب می‌شد. ککوله اظهار داشت این انگشتر طلسم متعلق به خانم گورلیتس است. این موضوع ودیگر شواهد داوران را بر مجرم بودن اشتاوف قانع نمود.

همین دادگاه بود که مسیر زندگی ککوله را تغییر داد، زیرا وی به حدی مجذوب نظرلیبیگ شدکه از معماری به شیمی تغییر رشته داد و نزد وی‌کار و پژوهش در شیمی‌را آغازکرد و توانست خدمات ارزنده‌ای به این‌شاخه از دانش‌بنماید. حتی حلقهٔ‌انگشتری هم اثری فراموش نشدنی بر وی باقی‌گذاشت، زیرا همین علامت، پانزده سال بعد، هنگامی که وی سخت مشغول تشریح ساختار مولکولی بنزن بود، از ضمیر ناخودآگاه او سر برآورد. ککوله براساس خواص‌وزنی و شیمیایی‌پی‌برده‌بودکه‌مولکول بنزن دارای شش‌اتم‌کربن و شش‌اتم هیدروژن است. اما چگونگی آرایش‌پیوند این اتمها را نمی‌دانست. در این زمان بودکه خواب معروف خود را دید. به‌نوشتهٔ خودش:

«شبی صندلیم را رو به شعله‌های آتش گردانده و در حال چرت‌زدن بودم...»

به‌نظرش می‌آیدکه اتمها را می‌بیند، اتمهایی که مشغول رقص‌اند، به این‌سو و آن سو می‌جهند، وگاهی به‌هم‌پیوسته، همچون مار، پیچ و تاب می‌خورند و سپس ناگهان

«... یکی از مارها دم خود را به دهان فرو برد و حلقه‌ای به وجود آورد که جلو چشمانم مانند گردباد به شدت می‌چرخید. براثر رعد و برق از خواب‌پریدم و بقیه‌شب را به‌پرداختن نظریه‌ام ونتایج آن سپری‌کردم.»

بدین‌ترتیب بودکه ککوله پیشنهادکرد، مولکول بنزن به شکل حلقه‌ای‌شش‌گوش از اتمهای کربن‌است و اتمهای هیدروژن به‌مثابه آویزه‌های یك دستبند به‌آن آویزان‌اند.

گرچه مدتی طول کشید تا فرضیه ککوله مورد قبول واقع شد، ولی در نهایت الهام‌بخش گستره‌ای جدید در شیمی ساختاری شد که براساس‌آن خواص‌شیمیایی به‌ساختار هندسی مولکولها وابسته می‌شود. توجه به‌این‌نکته‌که الگوی حلقه‌ای ککوله بیش از یکصد سال به‌عنوان حقیقتی مسلم فرض شده‌است و تنها در سالهای اخیر توانسته‌اند مولکول حقیقی بنزن‌را ببینند، خود امری شایان‌توجه است.

بیشتر جهانیان، نخستین‌بار تصویر مولکول بنزن را در ژوئن ۱۹۸۸ در مجلهٔ *Physical Review Letters* مشاهده‌کردند. این‌تصویر شبیه به‌یك سینی حامل‌تعدادی دونات بودکه در سوراخ هردونات لکهٔ تاریکی دیده می‌شد.* این تصویر به‌هیچ‌روی‌تصویر دونات‌نبودبلکه‌تصویری‌ازمولکولهای‌بنزن‌بودکه‌به‌سطح‌نواری‌از فلز رودیم‌متصل‌بودند؛ هرقطعهٔ‌نامشخص‌سوراخدار یك‌تك‌مولکول حلقه‌ای شکل مادهٔ آلی را نشان می‌داد. تصویر مذکور با ابزاری جدیدبه‌نام میکروسکوپ تونلی‌پویشی** (STM) توسط دانشمندان مرکزپژوهشی‌آلمادن‌وابسته به‌شرکت IBM واقع درشهر سن‌خوزه کالیفرنیا به‌دست‌آمده‌است.

ازآنجاکه‌شیمیدانان‌بیش‌از یك قرن‌است حلقهٔ‌بنزن رامی‌شناسند، مقالهٔ نامبرده اهمیت چندانی به تصویر مولکول بنزن و یا اساساً موضوع‌ساختار مولکولی نداد، درعوض‌تأکیدش براهمیت این‌روش جدید میکروسکوپی در فرایندهای شیمیایی چون خورندگی سطح فلزات و یا تهیه مدارهای سیلیکونی‌بود. درحالی‌که اگر هیچ‌نباشد حداقل‌تأیید الگویی که ککوله پیشنهادکرده بود خود نشانگرقدرت خلاقه مغزانسانی در به‌هم‌پیوستن اطلاعات متنوع و تجسم‌تصویر از آنهاست.

ازطرف دیگر خود این ریزنگاشت‌یا تصویر میکروسکوپی‌پرش تکان‌دهنده‌ای به‌دنبال دارد؛ زیرا بر خلاف ظاهر آن، این تصویر،

---

* این تصویر در مجلهٔ شیمی، سال اول، شمارهٔ سوم، صفحهٔ ۴۲ گزارش شده است. ـ م.

** STM مخفف Scanning -Tunneling Microcopes است. ـ م.

یك عكس واقعی نیست، بلكه یك بـازسازی كامپیوتری، براساس اندازه‌گیری جریـان الكتریكی است كه به‌هنگام عبور یك سوزن بر سطح مولكول جاری می‌شود (همانند تصویر توموگرافـی كامپیوتری ازمغز یا CAT scan). طبیعی است دراین كار زنجیره‌ای از اندازه‌گیریها، محاسبات و تفسیرها بین نمونهٔ مورد مشاهده و تصویر نهایی حاصل دخالت دارد. از آنجا كه الگوی ككوله نیز به‌تعبیر وتفسیرهای نظری مشاهدات شیمیایی گوناگون وابسته بوده است، رابطهٔ این دوشیوهٔ رؤیت شگفت‌انگیز می‌نماید. تخیل انسانی تا چه حد می‌تواند تصویـری حقیقی از جهان بـه ما بنمایاند؟ و برعكس ریزنگاشت مذكور تا چه‌حد تخیلی است؟

باتوجه به‌این‌مطلب كه نخستین گرایش آكادمیك ككوله معماری بوده‌است و معماری با آرایش اجسام در فضا سروكار دارد، جای تعجب نیست كه بزرگترین سهم او در علم این بـاشد كه شیمی را بـه‌طرف پـژوهش دربـارهٔ چگونگی آرایش اتمها بكشانـد به‌صرف تشخیص و تعیین شمارهٔ اتمها در مـولكول اكتفا نكند. وی ایـن نگـرش را نخستین‌بار در مـورد گـاز مرداب (متان) كه مولكول آن دارای چهار اتم هیدروژن و یك اتم كربـن است به‌كار گرفت. چنانكه می‌توان‌تصویر نمود، این پنج اتم را می‌توان به طرق متعددی مثلاً به صورت زنجیری ازكرات به هم متصل (به‌شكل تسبیح) گرفته تا گردهمایی متراكم و انباشته‌شان، كنار هم قرار داد. طبعاً هركدام از این‌وضعیتهاویژگیهای خاصی برای‌آسان یا دشواربودن‌این‌مولكول در واكنشهای‌شیمیایی پیش‌بینی می‌كرد. ككوله‌كه‌با خواص‌شیمیایی این گاز آشنایی داشت كوشید تا براساس آنها آرایشهای متنوعی را مورد استفاده قرار دهد، اما نتیجه‌ای به‌دست نیامد. گشایش این مشكل هم طبق گفته‌هایش در خوابی كه برای آدولف بایر پدربزرگ من، كه درضمن نخستین همكارپژوهشی وی بود، نقل‌كرد، از این قرار است:

در اوایل دههٔ ۱۸۵۰ زمانی ككوله در لندن به سر می‌بـرد. شبی دیروقت ازخانهٔ‌دوستی‌سواربر اومنی‌بوس‌به‌خانه باز می‌گشت و طبق معمول در صندلیهای واقع برپام آن‌كه روباز است نشسته بود. هوای گرم و خلوت شب خیابانها وی را به حالت خواب و بیداری‌فروبردكه‌درآن صحنه‌ای شبیه‌خوابی كه بعدها درموردبنزن دید، دربرابرش مجسم‌شد. دراینجا نیز اتمها رقصان و گردش‌كنان بودند. وقتی از ایـن حالت به‌خود آمد مشكل ساختار مولكولی متان گشوده‌شد: اتم كربن درمحل‌تقاطع‌بازوان یك‌صلیب و درسرهر بازوی‌آن یك‌اتم‌هیدروژن قراردارد. این‌تصویردوبعدی سپس‌توسط شیمیدانها به شكل سه‌بعدی امروزیش كه در آن هر اتم در مركز یك چهاروجهی منظم و هیدروژنها در رئوس آن واقع‌اند، درآمد.

بـا در دست داشتن یك الگوی بنیادین برای متان، ككوله و پدربزرگ من آسان یا مشكل‌بودن پیونددادن سایر اتمها به‌آن را بررسی كردند و بدین‌وسیله شیمی ساختاری به‌سرعت رو به پیشرفت نهاد. بدین‌ترتیب تركیبات متعددی را شكافته، تلفیق، یـا مجدداً مورد تركیب قرارداده، دهها مواد سنتز نمودندكه برخی درطبیعت وجود داشت و برخی كاملاً جدید بـود. اعجاب‌آور اینكه تمامی این كارها جزبا كمك لولهٔ آزمایش چراغ بونزن، قرع، مایعها، بخارهاو نمكها انجام‌نگرفته است. تمامی اینها خیلـی پیش از آنكه كسی مولكولی را دیده‌باشد، یا حتی اغلب دانشمندان مفهوم موجودیت اتم واقعی را پذیرفته باشند، صورت گرفته است. لذا تعجب‌آور نیست كه شیمی ساختاری مورد قبول عموم دانشمندان قرار نگیرد یا حتی كسی مثل شیمیدان معروف آلمان آدولف كولبه در مورد كارهای ككوله بگوید: «دست كمی از جادوگری و احضار روح ندارد»

اما اینها ككوله و همكارانش را دلسرد نكرد و تنها هنگامی كه اقدام به‌روشن كردن ساختار بنزن نمودند با بن‌بستی روبرو شدند. زیرا اگرمولكول‌بنزن به‌شكل‌زنجیری بازومتشكل ازشش‌اتم كربن و شش اتم هیدروژن متصل بدانها می‌بود نمی‌بایستی با زنجیرهای همنوع خود كه‌هفت‌یاپنج كربن‌دارندتفاوت‌چندانی‌می‌داشت. درحالی كه‌بنزن‌ازپایداری‌بیشتری‌برخوردار بودوبه‌ویژه‌این‌خاصیت‌تركیبات زنجیری را نـداشت‌كه به دو سر آن اتمهای اضافی متصل شود. نظریهٔ حلقه‌ای ككوله از پس این مشكل برآمد و بنزن را جایگاه ویژه‌ای بخشید. از آن پس بررسی تركیبات كربن، كه‌امروزه شیمی آلی‌نام دارد، به‌دوبخش‌یكی‌برای‌زنجیرهای‌باز و دیگری‌زنجیرهای بسته (مشتمل برمیلیونها مولكول كه مانند بنزن حلقه‌ای هستند) تقسیم گردید.

در اوایل دههٔ ۱۹۸۰ هنگامی كه گردبینیگ[1] و هاینریش‌روهرر[2] نوع‌جدیدی از میكروسكوپ الكترونی را در مركز پژوهشی IBM در شهر زوریخ واقع در سویس ابداع‌كردند هدف‌آنها رؤیت سطح یك‌ماده‌بودنه‌ساختارزیرین‌آن. دستگاه‌ابتكاری‌آنها كه میكروسكوپ تونلی پویشی STM نامیده می‌شود نه تنها قادر به تجزیه‌وتحلیل اتمهای واقع در سطح است بلكه قدرت تجزیه‌اش از یكصدم‌اتم‌نیز فراتر می‌رسد و به‌این دلیل جایزهٔ‌نوبل فیزیك ۱۹۸۶ به‌آنها اعطا گردید.

در میكروسكوپ بینیگ و روهررنوك سوزن بسیار ظریف كـه به اندازهٔ یك اتم‌است درفاصلهٔ ۱nm از سطح‌نمونه موردمطالعه، قرار می‌گیرد. اختلاف پتانسیل بسیار كوچكی بین ایـن سوزن و سطح نامبرده برقرار است. برای حفظ این فاصله بسیار تنگ، این اختلاف پتانسیل‌باید بی‌اندازه‌كم بـاشد ـ كمتر از مقداری كه طبق فیزیك‌كلاسیك موجب برانگیختن و تحرك الكترون در عرض این فاصله گردد. اما در این‌ابعاد، فیزیك‌كلاسیك مصداق ندارد و اثری مكانیك‌كوانتومی به‌نام پدیدهٔ تونلی رخ می‌دهد و جریانی خفیف‌از نوك این سوزن به‌سوی نمونه روانه می‌گردد.

حال هرچه این فاصله‌كمتر باشد شدت جریان الكترونی افزایش می‌یابد. لذا می‌توان ازآن به‌عنوان وسیله‌ای برای تشخیص‌فاصله بین نوك سوزن و سطح نمونه استفاده‌كرد. هنگامی‌كه نوك سوزن درفاصلهٔ ثابتی از بیرونی‌ترین لایه‌های اتمی نمونه بـالا و پایین می‌رود، نمای اتمی نمونه را به‌اصطلاح می‌پوید وكامپیوتر دستگاه حركات عمودی و افقی سوزن را ثبت و به كمك ابـزارهای لازم به‌شكل یك نقشهٔ سه‌بعدی ترسیم می‌نماید، وجود یك برآمدگی در سطح به‌صورت نقاطی متناظر به‌رنگ سفید و یك فرورفتگی یـا یك سوراخ به‌صورت لكه‌ای سیاه به‌ثبت می‌رسد. توانایی حفظ‌این فاصلهٔ تنگاتنگ بین نوك سوزن و سطح نمونه است‌كه در این‌نوع میكروسكوپ تـونلی ثبت جزئیات بسیار ظریف، یعنی ساختار مولكولی را میسر می‌سازد.

---

1. Gerd Binnig 2. Heinrich Rohrer

البته می‌دانیم که تصاویر مولکولی سالهاست در دسترس بوده‌اند و یکی از معروف‌ترین آنها ساختار مارپیچی دوگانه DNA است که به کمک پراش پرتو ایکس به‌دست آمده‌است. در این روش پرتوهای ایکس که توسط اتمهای یك آرایهٔ منظم مثلاً اتمهای واقع در یك بلور بازتابیده می‌شوند، بر روی یك صفحهٔ حساس عکاسی گرفته می‌شوند و در آنجا به‌صورت الگوهای خاصی از لکه‌ها و یا خطوط ظاهر می‌شوند. اما این عکسها تصاویر واقعی مولکولها محسوب نمی‌شوند. در واقع، برای استنتاج ساختار مولکول از این عکسها، تحلیل دقیق و بسیاری مفاهیم نظری لازم است. اهمیت میکروسکوپ تونلی پویشی در این است که برای نخستین بار معماری مولکولهای منفرد را آشکار می‌کند.

اما در مورد STM هم مانند پرتو ایکس و یا شیمی قدیم، استنتاج تصویر به‌شیوه‌ای غیرمستقیم است. از آنجا که اثر تونلی پدیده‌ای کوانتومی است، طبق قوانین حاکم برجهان کهتر از اتم، امکان دارد که در برخی آرایشهای الکترونی این اثر انجام‌پذیر باشد و در برخی دیگر انجام‌پذیر نباشد و یا در برخی راستاها نیرومندتر باشد، یا اگر شرایط مناسب نباشد، اصلاً به وقوع نپیوندد. در تصویر مولکولهای بنزن، لایه‌ای از بنزن را به کمك کربن مونوکسید برروی سطح فلز رودیم چسبانیده‌اند، و بنابراین مولکولهای کربن مونوکسید بین شکاف مولکولهای بنزن وجود دارد. موقعیت مولکولهای کربن مونوکسید را با روش متداول یعنی پراش مشخص نموده‌اند. اما به‌دلایلی نامعلوم حضور این مولکولها درمیان مولکولهای بنزن با میکروسکوپ تونلی مشخص نمی‌شود. حال اگر بخشی از ساختاری که می‌دانیم در آنجا وجود دارد نتوانیم ببینیم، پس چگونه می‌توانیم با اطمینان‌خاطر آنچه می‌بینیم تصویری حقیقی بینگاریم؟

ابهام دیگری که درتصویرهای STM وجوددارد ناشی ازشیوهٔ نمایش آن است. بدین معنی که همانند رنگ کاذب مربوط به یك توموررمغزی درتصویرهای CAT scan سایه‌پردازیهای حلقه بنزن نیز یك نوع ظاهرپردازی برنامهٔ کامپیوتری است. لکه تیره‌ای که در وسط بخش سفید برآمدهٔ مولکول می‌بینیم نشانهٔ این است که در این محل شدت جریان تونلی کاهش پیدا کرده‌است نه اینکه این لکه مربوط به‌سوراخی دروسط مولکول بنزن‌است که به‌سطح فلز رودیم می‌رسد. در حقیقت تفسیر تصویر نامبرده حکایت از یك فرورفتگی دارد، نه یك سوراخ. این تجربه ما از شیرینی دونات یا اجسام سه‌بعدی دیگر همراه با انبوه اطلاعات یکصد و بیست سال ما در زمینهٔ شیمی آلی است؛ که به‌ما این اعتماد را می‌دهد تا تصویر را برحسب حلقه‌های بنزن تفسیر نماییم.

ما تنها به‌تصویرهایی مطلقاً اعتماد می‌کنیم که مستقیماً قابل دسترس حواس ما باشند. ولی این چیزی‌است که در عرصهٔ دانش امروز به‌طورفزاینده‌ای بی‌ربط تلقی می‌گردد. شیء موردنظرخواه ویروسی باشدکه با میکروسکوپ الکترونی به آن نگاه می‌کنیم، خواه کهکشانی دوردست باشد که با رادیو تلسکوپ مورد مشاهده ماقرارمی‌گیرد و یا جنینی در رحم باشدکه توسط دستگاه فراصوتی آن‌را می‌بینیم پیش ازآنکه داده‌های خام دستگاه به‌تصویری‌تبدیل شود، می‌بایدنظریات و فرضیاتی‌رابه‌کاربست. تنهادرموارد معدودی که‌شکل، رنگ، و بافت‌تصویر را می‌توان مستقیماً ازطریق‌رؤیت و لامسه تأیید کرد، می‌توانیم مطمئن باشیم که شیء و تصویر مطابقت دارند.

در واقع عدم قطعیتی که با تصویرهای این ابزار توأم است، با عدم قطعیت تصاویر حاصل در مغزمان تفاوت چندانی ندارد. با درك این واقعیت، فعالیتهای تصویرنگاری و تصور با هم یکی می‌شوند: زیرا هر دوشان بر یك نوع اطلاعات پیشینه‌ای (یعنی مفروضات ونظریاتی پنهانی) استوارند.

بنابراین تفاوت خواب ککوله و میکروسکوپ تونلی پویشی‌آن اندازه‌که درکمیت است درکیفیت نیست: ریزنگاشت مولکول‌بنزن برخلاف خواب، اندازه‌های مولکول را در ابعاد نانومتر به دست می‌دهد، اما از آنجا که الگوی ساختاری بنزن خیلی بهتر از ریزنگاشت آن شناخته‌شده است (دهها سال است که توانسته‌ایم جزئیات این الگو را بررسی کنیم) خواب ککوله است که تصویر مکانیکی را تأیید می‌کند، نه برعکس.

ترجمهٔ محمد نبی سربلوکی

• A Dream Come True
Hans Christian Von Baeyer
The Sciences, March 1989

تشابهی نادیده گرفته شده با رؤیای ککوله

کشف انتقال شیمیایی تکانه‌های عصبی توسط «اتولوئی»

اولریش وایس، رونالد براون

اخیراً مباحثات گوناگونی درمورد قابل‌اعتماد بودن رؤیای ککوله (وفات ۱۸۹۰) که گفته می‌شود وی را به سوی تشخیص قابلیت اتم کربن در به‌وجودآوردن‌ساختار زنجیره‌ای (۱۸۵۵)وفرمولبندی ساختارحلقه‌ای بنزن (۱۸۶۵/۶۶) هدایت‌کرد، مطرح‌شده است. این بحث توجه بسیاری را به‌خود جلب کرده و نظرهای مخالف و موافق گوناگونی ابراز شده است. بعضی می‌گویند هیچ دلیلی وجود ندارد که این داستان را باور نکنیم. «چرا باید این پیرمرد مشهور دنیا اغراق‌گویی کرده باشد، چه‌انتظاری می‌توانسته است از طرح یك داستان ناموجه داشته باشد؟» بعضی مدعی هستند که