آیا مکانیک کوانتومی رازهای زیست‌شناسی را خواهد گشود؟

محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

نمی‌دانم چرا همیشه می‌پندارم زیست‌شناسی کنونی علمی ایستاست و به جز یک تحول اساسی ـ که آن نیز مرهون فیزیکدانانی چون کریک و واتسون بوده ـ دستخوش دگرگونی بایسته‌ای که فیزیک و به تبع آن شیمی در ابتدای قرن گذشته متحمل آن شدند، نشده است. در یک قیاسِ نه چندان بی‌راه، شاید بتوان زیست‌شناسی کنونی را به شیمی عصر کیمیاگری، که هنوز دانش‌هایی چون مکانیک کوانتومی برای توجیه پدیده‌های آن پا به میدان نگذاشته بود، تشبیه کرد. البته شاید تند رفته و جانب انصاف را رعایت نکرده باشم؛ ولی شک ندارم که زیست‌شناسی و به تبع آن علوم پزشکی نیاز به تحولی دارند که اصطلاحاً در علوم، تحول اساسی[1] خوانده می‌شود و تقریباً تردیدی ندارم که این تحول اساسی از دالان علم مکانیک کوانتومی خواهد گذشت.

سال‌هاست که متخصصان علوم بین‌رشته‌ای به این امر پی برده‌اند و بسیاری کوشیده‌اند از این طریق به رمز و رازهای حیات پی ببرند. سدهٔ کنونی به یقین سده و عصر زیست‌شناسی خواهد بود و از همین رو بسیاری از متخصصان درجهٔ اول علوم ریاضی و فیزیک در حال کوچ به زیست‌شناسی هستند. اخیراً که از سرِ کنجکاوی در پی اعضای گروه زیست‌شناسی بزرگ‌ترین مرکز تحقیقاتی علوم دنیا، یعنی انستیتو مطالعات عالی پرینستون می‌گشتم، دریافتم بسیاری از غول‌های فیزیک جهان از جمله *ادوارد ویتن*[2] ـ فیزیکدان ژنی که او را می‌توان پدر نظریهٔ ریسمان در ذرات بنیادی پنداشت ـ و *فریمن دایسون*[3] اعجوبهٔ دیگری از فیزیک و از بنیان‌گذاران فیزیک ذرات بنیادی، در آن حضور دارند. می‌توان گفت که کفگیر فیزیک تقریباً به ته دیگ خورده است، زیست‌شناسی سرزمینی بکر برای پاشیدن بذرهای نظریه‌های جدید است و به این ترتیب، بی‌گمان آن تحول بایسته در این سده در این علم رخ خواهد داد. جای بسی تأسف است که در دورهٔ جدید متوسطه، درس زیست‌شناسی به‌عنوان یکی از دروس رشتهٔ ریاضی فیزیک پذیرفته نشد و به جای آن درس زمین‌شناسی افزوده شد که نشانی از دیدگاه سنتی و پیشامدرن برنامه‌ریزان آموزشی دارد که همگام با تحولات علوم نوین پیش نمی‌روند و پیچیده در کلاف بی‌سر و ته واژگان علوم انسانی همچنان به قول *آلوین تافلر*[4] به طبل علوم فناوری‌های ماشین دودی می‌کوبند.

در هر حال، همان‌طور که پیش‌تر هم در مقاله‌ای خاطرنشان کردم، برخی از متخصصان علوم اعصاب نیز به اهمیت مکانیک کوانتومی پی برده‌اند و خود نیز پیشنهاداتی داشته‌ام[5]. از آن جمله *استوارت همراف*[6] است که همراه با

فیزیکدان نظری برجسته، *راجر پنروس*[۷]، به این حیطه پای گذاشته‌اند.

منظور اینکه، خود جوامع پزشکی و زیست‌شناسی نیز به نقایص کارشان و اینکه دیگر دانش‌های قدیمی نمی‌توانند راه به جایی ببرند، پی برده‌اند و تشنهٔ اندیشه و منش علمی تازه‌اند.

در این مقاله به بررسی چند پدیدهٔ دیگر می‌پردازیم که آن‌ها نیز بسته به نیاز متخصصان زیست‌شناسی، پای فیزیکدان‌ها را به این حیطه باز کرده‌اند. نخستین آن‌ها به کاوشی برمی‌گردد که زیست‌شناس نامی *جان‌جو مک فادن*[۸] از بخش زیست‌شناسی دانشگاه *سوری*[۹] به انجام رسانید و در توجیه یک پدیدهٔ نادر دست به دامان فیزیکدانان شد.

او در پی یک آزمایش دریافت که وقتی باکتری *M.tubercolosis* را در شرایط کمبود اکسیژن قرار می‌دهد، به‌طریقی جهش می‌یابد که سویهٔ کشنده‌ای از آن بیشتر ظاهر می‌شود. در حالی که طبق نظریهٔ داروین، جهش‌ها باید کتره‌ای (راندوم یا تصادفی) باشند و هیچ جهشی نباید بر دیگران مرجّح باشد و بیشتر از بقیه رخ دهد ـ یعنی شرایط محیطی در انتخاب نوع جهش، دخیل نیست. پیشتر، گروهی از زیست‌شناسان مولکولی دانشگاه هاروارد، به سرپرستی *جان کینس*[۱۰] به مورد عجیب دیگری پی برده بودند. آن‌ها دریافته بودند وقتی که باکتری E-coli که نمی‌توانند لاکتوز را هضم کند، در ظرف ژلاتینی حاوی شکر پاشیده شود، جهش لازم را برای تجزیهٔ سریع‌تر لاکتوز، از وضعیت‌های دیگر انجام می‌دهد و این نتیجه در مجلهٔ معتبر *نیچر* به چاپ رسید [۱]. مک‌فادن به کمک فیزیکدان جوانی به نام *جیم الخلیلی*[۱۱] کوشید به یاری مکانیک کوانتومی راز این معماها را بگشاید. البته دخالت دادن مکانیک کوانتومی در زیست‌شناسی کار چندان بدیع و تازه‌ای نبوده

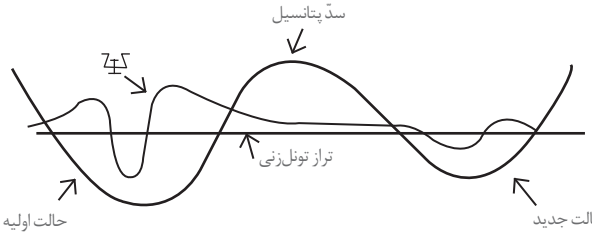
جیم الخلیلی

است و پیش از آن، فیزیکدانی به نام *لودین*[۱۲] به این امر همت گماشته بود [۲]. در هر حال، باید توجه کنیم که یاخته‌ها از اتم ساخته شده‌اند و قوانین مکانیک کوانتومی برای همهٔ اتم‌ها حاکم است؛ قوانینی همچون برهم نهی کوانتومی[۱۳] ـ اینکه در حالت میکروسکوپی تا ذره دیده نشود، جای آن مشخص نیست ـ و پدیدهٔ تونل‌زنی[۱۴] که بر مبنای آن ذرات میکروسکوپی می‌توانند از موانعی رد شوند که از لحاظ کلاسیک ناممکن است. در توجیه این آزمایش‌ها باید به ساختار نردبانی DNA توجه کرد. البته اگر این مقاله را برای فیزیک پیشگان می‌نوشتم ـ آن‌طور که باید در کتاب‌های جدیدالتألیف برای رشته‌های ریاضی فیزیک نگاشته می‌شد ـ به ساختار این مارپیچ و به دو زنجیرهٔ پلی‌نولکئوتیدی آن که در جهاتی معکوس با پیوندهای هیدروژنی که به ترتیب بازهای A و G یک زنجیره با بازهای T و C زنجیرهٔ دیگر جفت می‌شوند، مقابل هم قرار

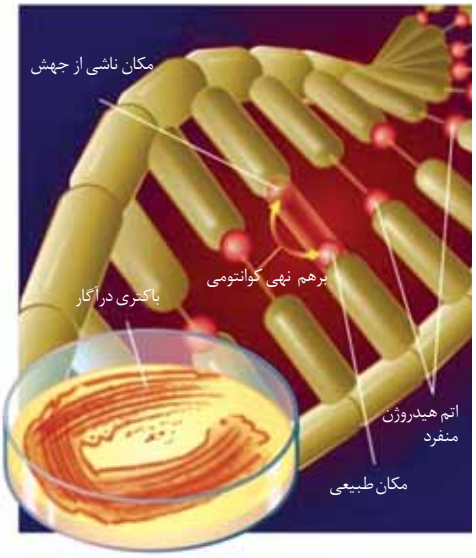
جان‌جو مک‌فادن

می‌گیرند و الی آخر می‌پرداختم؛ اما اکنون مخاطبانم کسانی هستند که بر این دانش احاطهٔ لازم را دارند. بنابراین، تکیه بر این امر که هر پلهٔ این نردبان شامل پیوند هیدروژنی است که بر آن‌ها قوانین مکانیک کوانتومی حاکم است، کفایت می‌کند.

اما افزون بر این شکل طبیعی، در یک جهش می‌توان به اشکالی غیرطبیعی یا اصطلاحاً توتومری[۱۵] هم رسید. هر تغییر در توالی DNA ژنوم بنای یک جهش است. جهش هنگامی رخ می‌دهد که یک هیدروژن از مکان طبیعی خود به جای دیگر (جای نادرست در نیمهٔ مقابل نردبان) برود. این تغییرات از شکل طبیعی به اشکال توتومری، موجب خطاهایی در فرایند رونویسی DNA می‌شود. در هر حال، بنا به قواعد مکانیک کوانتومی تا هنگامی که جهش رخ نداده باشد، یک هیدروژن را می‌توان در هر دو سوی نردبان در نظر گرفت و جهش هنگامی رخ می‌دهد که هیدروژن بتواند اصطلاحاً به بیان مکانیک کوانتومی از سدّی ـ که از لحاظ کلاسیکی غیرممکن است ـ تونل بزند و به آن سوی نردبان برود (شکل ۱). بر مبنای آنچه که تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی خوانده می‌شود، این اندازه‌گیری (مشاهده) است که واقعیت یک حالت فیزیکی را خلق می‌کند. در این مورد یک آزمایش تخیلی مشهور را بیان می‌کنند. به‌طور ذهنی فرض می‌کنند که فوتون به یک آینهٔ نیمه‌نقره‌اندود برخورد می‌کند. احتمال آن وجود دارد که فوتون هم از آینه عبور کند و هم نکند. فرض کنید فوتون در صورت عبور وارد اتاقک گربه‌ای شود که در آن مادهٔ شیمیایی کشنده‌ای قرار دارد که در حضور فوتون فعال می‌شود. پس اگر فوتون از آینهٔ نیمه‌اندود عبور کرده باشد، گربه مرده است.



شکل ۱. برای سادگی کار، حالت‌های اولیه و جدید را همان جایگاه هیدروژن در دو سوی نردبان فرض کنید. هیدروژن می‌تواند یا در چاه سمت چپ باشد یا در چاه سمت راست. در میانهٔ این دو چاه سدّ پتانسیلی دیده می‌شود. در مکانیک کوانتومی ذرات را با بستهٔ موجی Ψ نشان می‌دهد. الان می‌بینیم که موج Ψ (مربوط به هیدروژن) انرژی کمتری (نشان داده شده با E) در برابر سدّ پتانسیل (نشان داده شده با U) دارد. در مکانیک کلاسیک چنین عبوری ناممکن است. اما مکانیک کوانتومی این امر را مجاز می‌شمارد. شواهد فراوان دیگری نیز در تأیید این پدیده وجود دارد و امری مسلم در فیزیک پنداشته شده است.



شکل ۲. وجود مولکول‌های شکر موجب می‌شود اتم هیدروژن به سوی دیگر نردبان تونل بزند و بر اثر این جهش، لاکتوز را سریع‌تر تجزیه کند.

در نتیجه، گربه یا مرده یا نمرده است (یک وضعیت مشابه کوانتومی). ما تنها در صورتی می‌توانیم به این امر پی ببریم که در اتاقک را باز کنیم و وضعیت گربه را تشخیص دهیم (یک وضعیت مشابه کلاسیکی). این امرِ مشاهده است که یک واقعیت فیزیکی را ایجاد می‌کند و دنیای چندگانهٔ کوانتومی را به دنیای یگانهٔ کلاسیکی تبدیل می‌کند. بنابراین تا هنگامی که جهش رخ نداده است، هیدروژن می‌تواند در هر دو سوی باشد و جهش هنگامی رخ می‌دهد که تونل‌زنی کوانتومی رخ دهد و وضعیت جدید دیده شود.

هم‌اکنون مک فادن و الخلیلی در پی آزمایش‌های پیشنهادی دیگری هستند تا به نظریهٔ خود استحکام بیشتری بخشند. آن‌ها می‌خواهند هیدروژن موجود در مولکول طبیعی DNA را با اتم‌های دوتریم (که همان ویژگی‌های شیمیایی هیدروژن را دارند، ولی دوبرابر سنگین‌ترند) جانشین کنند. آن‌ها معتقدند در این صورت آهنگ جهش‌ها کمتر خواهد شد، زیرا احتمال تونل‌زنی برای اتم‌های سنگین‌تر دوتریم به مراتب کمتر است [۳].

در مورد آزمایش E-coli هم استدلال این است که باکتری هم می‌تواند لاکتوز را تجزیه کند و هم نکند. مک فادن و الخلیلی به‌طور ریاضی تحلیل کردند که برهم‌کنش بین اتم هیدروژن DNA و محیط اطراف آن ـ و به عبارتی حضور مولکول‌های شکر ـ باعث می‌شود که هیدروژن به مکان نادرست تونل بزند (شکل ۲). محاسبات آن‌ها نشان داد که این جهش، E-coli را قادر می‌سازد تا لاکتوز را سریع‌تر از وضعیت در نبود شکر تجزیه کند [٤].

پدیدهٔ مورد بررسی دیگر، پدیدهٔ فتوسنتز است. همان‌طور که می‌دانیم درون کلروپلاست آنتن‌های رنگیزه‌ای وجود دارد که انرژی را از مولکول‌های جمع‌کنندهٔ نور به پروتئین‌های حمل برهم‌کنش منتقل می‌کنند. از دیدگاه زیست‌شناسی کلاسیک، انرژی همواره از یک مولکول به مولکول دیگر در یک تک مسیر، چیزی شبیه لی‌لی‌کنان، می‌جهد. ولی محاسبات نشان داده‌اند که در این صورت بازده به مراتب کمتر از بازده واقعی می‌شود. راه‌حل برطرف کردن این معضل نیز در چنتهٔ مکانیک کوانتومی است. از دیدگاه مکانیک کوانتومی انرژی می‌تواند به همهٔ مسیرهای مولکولی «سرک» بکشد و مسیری را انتخاب کند که سریع‌ترین است ـ به عبارت دیگر، فوتون‌ها پیش‌بینی می‌کنند و در هر زمان بهترین مسیر را برمی‌گزینند (شکل ۳). آزمایشی که تیم همکار شیمیدان برجسته *گراهام فلمینگ*[16] در سال ۲۰۰۷ در دانشگاه برکلی روی باکتری گوگرد سبز[17] در دمای ۳۲۱°F– انجام دادند، مؤید این نظریهٔ کوانتومی بوده است [٥] و سه سال بعد همین آزمایش‌ها توسط *گرگوری شولز*[18] شیمیدانی از دانشگاه تورنتو در اونتاریو با جلبک‌های دریایی در دمای اتاق به انجام رسید و این نظریه را تأیید کرد [٦]. این نتیجه خیلی‌ها را متعجب کرد. گفته می‌شود فیزیکدان‌ها که سال‌ها در پی ساختن کامپیوترهای کوانتومی بودند، اکنون دریافته‌اند که هر روز انبوهی از این رایانه‌ها را همراه با سالاد می‌خورند!

شکل ۳. فوتون‌ها موقعیت را پیش‌بینی می‌کنند و به جای طی کردن مسیرهای طولانی‌تر، مسیری سریع‌تر را برای خود برمی‌گزینند.

پی‌نوشت‌ها

1. breakthrough
2. Edward vitten
3. Freeman Dyson
4. Alvin Toffler
5. M.R.Khoshbin-e-khoshnazar, Quantum Superposition in the Retina: Evidences and Proposals, Neuro-Quantology, March 2014, Volume 12, 97-101.
6. stuart Hameroff
7. Roger Penrose
8. Johnjo MeFadden
9. Surry
10. John Cains
11. Jim Al-Khalili
12. Lodin
13. quantum superpositins
14. tunelling
15. tautumeric
16. Graham Fleming
17. Green Sulfur
18. Gregory Scholes

منابع

1. John Carins, Juliet Overbaugh & Stephan Miller, The Origion of Mutants, Nature 335 (sep 1988) 142-145.

و نیز نگاه کنید به:

John Carins and Patricia L. Foster, Adaptive Reversio of a Frameshift Mutation in Escherichia Coli, *Genetics* 125 (1991), 695-701.

2. Per-Olov Lowdin, Proton tunneling in DNA and its biological implications, *Rev.mod.Phys* 35 (1963), 729-732.

3. Zeeya Merali, Solving Biology's Mysteries Using Quantum Mechanics, *Discover*, December 27, 2014.

4. Johnior McFadden, Jim Al-Khalilil, A quantum mechanrcal model of adaptive mutation, *Biosystems* 50 (1999) 203-211.

5. G.S. Engel,..., G. Fleming, Evidence for Wavelire energy transfer through quantum Coherence in Photosynthetic systems, *Nature* 446 (2007), 782-786.

6. G. Scholes, et.al, Coherently wired light-harvesting in Photosythetic marine algae at ambient temperature, *Nature* 463 (2010), 644-647.