Công nghệ lượng tử: CÔNG NGHỆ CỦA TƯƠNG LAI

Đức Minh
Đại học Quốc gia Hà Nội

Ngành công nghiệp lượng tử sẽ thống trị tương lai với sự ra đời của mạng thông tin liên lạc lượng tử có khả năng bảo mật gần như tuyệt đối, các cảm biến lượng tử với độ nhạy và chính xác siêu cao, các siêu máy tính lượng tử... Công nghệ lượng tử cũng sẽ nắm giữ chìa khóa của internet vạn vật (IoT) hay trí tuệ nhân tạo (AI)... Đó không phải là một tương lai xa xôi mà chúng đang hiện hữu trước mặt. Những ứng dụng thương mại đầu tiên đã bắt đầu và các ông lớn công nghệ đang dấn thân vào cuộc đua chiếm lĩnh mặt trận công nghệ mới này.

Từ cái "vướng víu" ma thuật...

Cách đây hơn nửa thế kỷ, nhà vật lý John Stewart Bell gửi đăng một bài báo ngắn ngủi và mang hơi hướng viễn tưởng trên một tạp chí không tên tuổi *Physics Physique Fizika*. Bài báo của ông đưa ra những khẳng định quan trọng về sự "vướng víu" lượng tử, một trong những đặc trưng hấp dẫn nhất của thuyết lượng tử. Tờ tạp chí này bị đình bản vài năm sau đó, nhưng bài báo của J.S. Bell đã thu hút được sự chú ý của cả thế giới sau này. Giờ đây, nó là một trong những bài báo được trích dẫn nhiều nhất mọi thời đại. Cũng từ đó, nó mở ra một kỷ nguyên công nghệ mà dường như chỉ có trong những bộ phim viễn tưởng, chẳng hạn như: viễn tải lượng tử, máy tính lượng tử...

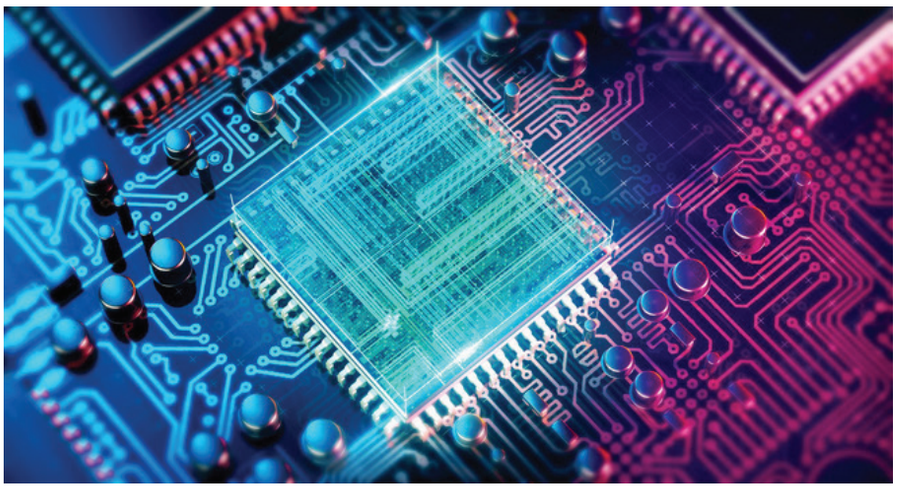
Trước đây, bản thân Albert Einstein cũng đã từng không tin vào những vướng víu lượng tử, thậm chí mỉa mai tính chất kỳ lạ này. Năm 1935, các nhà vật lý Albert Einstein, Boris Podolsky và Nathan Rosen lập luận trong một bài báo nổi tiếng rằng "miêu tả của cơ học lượng tử vào thế giới thực tại vật lý là chưa hoàn chỉnh".

Vướng víu lượng tử là hiện tượng trong đó hai hay nhiều hạt được kết nối, liên hệ với nhau thậm chí khi chúng cách nhau hàng triệu năm ánh sáng. Chẳng hạn như hai electron bị vướng víu đặt gần nhau, ở cùng một trạng thái. Khi chúng ta tách chúng xa bất kỳ đâu thì chúng luôn có mối liên hệ. Nếu thay đổi trạng thái của electron này thì ngay lập tức electron kia sẽ "cảm nhận" được và thay đổi theo. Hay đơn giản là nếu chúng ta có hai viên bi bị vướng víu, nếu xoay một viên bi ở Bắc Cực thì ngay lập tức viên bi kia nếu đặt ở Nam Cực cũng xoay theo. Đây thực sự là một tính chất lạ lùng. Nhưng nếu sự thực đúng như thế thì những ứng dụng của nó là vô cùng lớn. Ngày ngay, tính chất vướng víu lượng tử đã được kiểm chứng và đang mở ra những địa hạt mới cho những công nghệ tối tân phục vụ con người.

...Đến những công nghệ tính toán, thông tin liên lạc đột phá...

Máy tính lượng tử lần đầu tiên được nhắc đến vào những năm 80 của thế kỷ trước bởi nhà toán học Yuri Manin và nhà vật lý học nổi tiếng Richard Feynman. Từ đó đến nay, giấc mơ lượng tử chưa bao giờ tắt bởi những tính chất vật lý lượng tử như tính chồng chập và vướng víu lượng tử để thực hiện các phép toán như một lời đảm bảo về sự ra đời của thế hệ công nghệ tính toán, truyền thông đầy tiềm năng trong tương lai. Không còn nghi ngờ gì nữa, thế hệ máy tính, truyền thông tương lai sẽ khác rất xa ngày nay. Những thách thức mới trong an ninh mạng, bảo mật thông tin, tốc độ xử lý tính toán đã đặt ra những cơ hội chưa từng có để phát triển các kỹ thuật mới trong truyền thông, xử lý các bài toán phức tạp - đó là truyền thông và tính toán lượng tử. Công nghệ lượng tử được xem là chìa khóa để giải quyết tất cả những hạn chế mà máy tính ngày nay đang phải đối mặt. Lĩnh vực khoa học lượng tử sẽ thống trị các lĩnh vực máy tính, trí tuệ nhân tạo, an ninh thông tin...

Các mối đe dọa hiện hữu từ các cuộc tấn công mạng đang buộc các chính phủ, quân đội và doanh nghiệp tìm kiếm những cách truyền thông tin an toàn hơn. Các cường quốc, các phòng thí nghiệm hàng đầu thế giới, các tập đoàn công nghệ toàn cầu như IBM, Microsoft, Alphabet... đang



Máy tính lượng tử có khả năng xử lý thuật toán vượt trội nhanh gấp nhiều lần.

đầu tư các nguồn lực để phát triển kỹ thuật truyền thông lượng tử. Ở châu Á, Trung Quốc là quốc gia tiên phong đầu tư xây dựng Phòng thí nghiệm quốc gia về khoa học thông tin lượng tử có trị giá 10 tỷ USD, dự kiến năm 2020 sẽ đi vào hoạt động.

Cuộc chạy đua của những ông lớn công nghệ hứa hẹn cho ra đời những chiếc máy tính lượng tử có khả năng xử lý thuật toán vượt trội nhanh gấp nhiều lần, đồng thời các thông tin được bảo mật gần như tuyệt đối mà không một hacker nào có thể lấy cắp được. Máy tính lượng tử hứa hẹn sẽ tạo nên một cuộc cách mạng vô tiền khoáng hậu để cho ra đời mạng internet lượng tử.

Điều gì khiến máy tính lượng tử có được những ưu việt tuyệt vời như vậy? Trước hết chúng ta cần hiểu rằng, các công nghệ ngày nay mã hóa thông tin theo hệ nhị phân, trong đó dữ liệu và các "khóa" kỹ thuật số được gửi dưới dạng các bit cổ điển. Trong một máy tính thông thường, một bit sẽ có thể có hai giá trị hoặc là 0 hoặc là 1. Nhưng mã hóa lượng tử là kỹ thuật sử dụng hiện tượng vướng víu lượng tử của các hạt vật chất [1]. Đơn vị cơ bản của thông tin lượng tử được gọi là qubit. 1 qubit có thể có giá trị 0 và 1 ở cùng 1 thời điểm, tức là kỹ thuật mã hóa lượng tử có thể ép gấp đôi dữ liệu vào mỗi photon, mở ra 4 khả năng tín hiệu là: 00, 01, 10, 11. Như vậy, khi tổ hợp các qubit sẽ cho phép chúng ta lưu giữ thông tin lớn gấp bội hệ thống bit thông thường. Các phép toán logic cũng mạnh hơn logic nhị phân nên máy tính lượng tử sẽ xử lý thông tin phức tạp nhanh hơn nhiều so với máy tính hiện nay. Thực tế, trong công trình nghiên cứu công bố trên tạp chí *Science*, các nhà khoa học đã thiết kế thành công một mạch điện lượng tử có thể giải một bài toán mà máy tính cổ điển không làm nổi [2, 3].

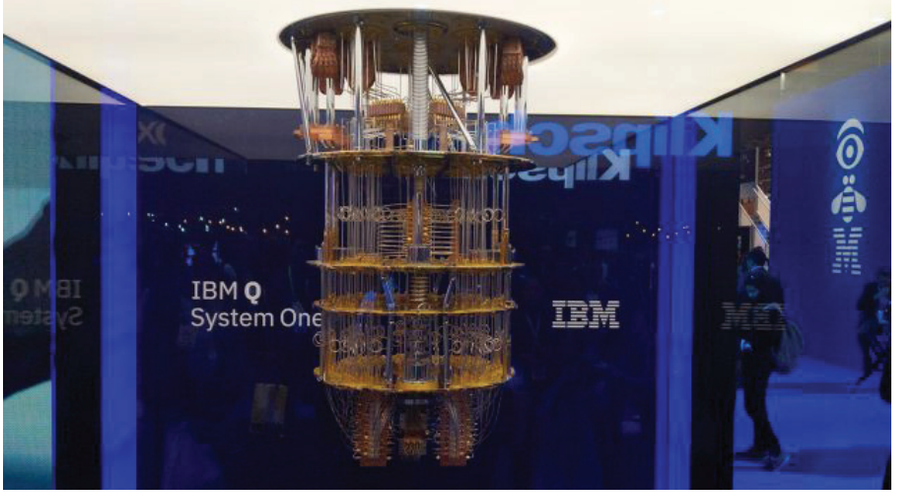
Ứng dụng quan trọng bậc nhất của máy tính lượng tử chính là mã hóa. Máy tính lượng tử với khả năng xử lý vô cùng mạnh mẽ, có thể tạo ra những mã hóa không thể bị phá vỡ. Những bước tiến trong nghiên cứu đã và đang mở ra những triển vọng to lớn trong việc mã hóa lượng tử.

Dường như các chủ đề nghiên cứu về thông tin, tính toán lượng tử chưa bao giờ nóng như bây giờ. Rất nhiều công trình nghiên cứu được công bố cho phép chúng ta bước những bước dài hơn để xây dựng những siêu máy tính lượng tử, internet lượng tử, viễn tải lượng tử… Công trình công bố trên tạp chí chuyên ngành danh tiếng *Physical Review Letters* và *Physical Review B* ngày 22/5/2019 đã cho thấy, lần đầu tiên trong lịch sử đã xác định được cấu hình hình học của một điện tử tự do (spin của điện tử). Đây là kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học thuộc Đại học Tổng hợp Basel (Thụy Sỹ) và cũng là bước tiến mới cho việc thiết lập cơ sở của qubit và máy tính lượng tử. Bởi vì spin của một electron được coi là ứng viên tiềm năng sử dụng như một qubit nhỏ nhất [4].

Trên tạp chí *Science*, các nhà khoa học tại Đại học Princeton (Mỹ) vừa công bố kết quả đột phá trong việc chế tạo thành công một con chip bán dẫn được tạo nên từ các lớp silicon và silicon-germanium, có khả năng truyền thông tin lượng tử từ một electron sang một photon ánh sáng [5]. Bên cạnh đó, các nhà khoa học tại Đại học Chicago (Mỹ) đã tạo ra bước đột phá trong nỗ lực phát triển công nghệ lượng tử trong đó tạo ra sự vướng víu lượng tử giữa hai qubit, đồng thời tạo ra một liên kết tầm xa tốt nhất giữa hai qubit. Trong một nghiên cứu được công bố ngày 22/4/2019 trên tạp chí *Nature*, các nhà khoa học đã xây dựng một hệ thống từ các qubit siêu dẫn trao đổi thông tin lượng tử dọc theo một vệt dài gần 1 mét với độ trung thực cực kỳ mạnh, hiệu suất cao hơn nhiều so với chứng minh trước đây [6].

…Và tương lai của một ngành công nghiệp công nghệ siêu cao

Có thể xem ngành công nghiệp tính toán lượng tử đang ở giai đoạn sơ khai, nhưng tiềm năng của nó là vô cùng lớn. Ngành công nghiệp lượng tử được tin là sẽ thống trị tương lai với sự ra đời của mạng thông tin liên lạc lượng



IBM Q System One có khả năng tính toán đáng kinh ngạc.

tử có khả năng bảo mật gần như tuyệt đối, các cảm biến lượng tử với độ nhạy và chính xác siêu cao, các siêu máy tính lượng tử… Công nghệ lượng tử cũng sẽ nắm giữ chìa khóa của internet vạn vật (IoT) hay trí tuệ nhân tạo (AI)… Tuy nhiên, đó không phải là một tương lai xa xôi mà chúng đang hiện hữu trước mặt. Những ứng dụng thương mại đầu tiên đã bắt đầu và các ông lớn công nghệ đang dấn thân vào cuộc đua chiếm lĩnh mặt trận công nghệ mới này.

Để chế tạo những con chip lượng tử và máy tính lượng tử trong phòng thí nghiệm, mất rất nhiều thời gian và phải bỏ ra một khoản chi phí đắt đỏ. Mặc dù vậy, ngành công nghiệp máy tính lượng tử đã gặt hái được những thành công ban đầu. Đây là cuộc đua của những ông lớn trong làng công nghệ như Intel, Google, IBM, Microsoft… Chẳng hạn như Intel đã cho ra mắt con chip lượng tử Tangle Lake 49 qubit mạnh nhất thế giới. Google cũng cho ra mắt chip lượng tử mạnh nhất từ trước tới giờ Bristlecone 72 qubit. Gã khổng lồ IBM cũng đã tuyên bố phát triển thành công máy tính 50 qubit. Đầu năm 2019, IBM cũng vừa công bố chiếc máy tính lượng tử thương mại có sức mạnh tính toán đáng kinh ngạc của mình mang tên IBM Q System One. Đây là chiếc máy tính lượng tử đầu tiên được thiết kế cho phép các doanh nghiệp có thể sở hữu và được xem là bước tiến lớn trong việc thương mại hóa điện toán lượng tử.

Không chỉ là những siêu máy tính lượng tử, nhiều quốc gia hàng năm đổ một khoản tiền khổng lồ cho nghiên cứu các công nghệ lượng tử. Những bước tiến công nghệ đang có sự tiến triển nhanh chưa từng có, khiến những điều tưởng như chỉ có trong những bộ phim viễn tưởng đang trở thành hiện thực. Trong đó, viễn tải lượng tử được kỳ vọng sẽ tạo nên những đột phá chưa từng có trong thông tin truyền thông. Theo đó, rối lượng tử, hay vướng víu lượng tử là chìa khóa để giúp chúng ta vận chuyển thông tin, trong đó toàn bộ thông tin của một qubit có thể được truyền chính xác từ địa điểm này đến địa điểm khác mà không kèm theo sự di chuyển trong không gian của vật thể mang qubit. Như vậy, chúng ta có thể tạo ra hai vật thể có vướng víu lượng tử ở bất kỳ khoảng cách nào. Các nhà khoa học đã đạt được những thành công ban đầu trong viễn tải lượng tử. Năm 2015, trong một công trình đăng trên tạp chí *Nature*, các nhà khoa học của Đại học Stanford công bố thành công trong việc gửi các hạt "vướng víu" qua một khoảng cách xa. Theo đó, họ đã tương quan các photon với spin của các electron, với công nghệ thí nghiệm được thiết kế, họ đã thành công vướng víu hai electron ở một khoảng cách kỷ lục là 1,93 km [6]. Thành quả nghiên cứu này ngay lập tức thu hút sự quan tâm rộng rãi của cộng đồng khoa học toàn cầu cũng như các công ty công nghệ hàng đầu thế giới bởi nó mở ra tương lai cho việc thiết kế những mạng lưới truyền thông tin lượng tử với độ bảo mật cao.

Cùng với đó, Trung Quốc cũng đang tập trung nguồn lực trong lĩnh lực này và đã gặt hái được những thành công ban đầu. Đây là quốc gia đầu tiên thành công trong việc phóng vệ tinh quỹ đạo thấp Micius phục vụ việc thử nghiệm lượng tử. Hệ thống gương và laser cùng một loại tinh thể đặc biệt của vệ tinh này có khả năng mã hóa dữ liệu và nhúng những đoạn mã mở khóa vào các photon vướng víu lượng tử. Những photon này có chứa thông tin mã hóa sau đó sẽ vượt qua quãng đường gần 2.400 km để di chuyển qua lại giữa vệ tinh và đài quan sát Xinglong.

Một cuộc đua công nghệ mới đang ở giai đoạn khởi động. Ai sẽ là người chiến thắng trong cuộc đua vẫn là câu hỏi còn bỏ ngỏ. Đầu tư cho nghiên cứu để thâm nhập sâu rộng vào địa hạt khoa học lượng tử sẽ nắm giữ được lợi thế cạnh tranh công nghệ tương lai ✍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] https://science.sciencemag.org/content/362/6412/308.

[2] Leon C. Camenzind, et al. (2019), "Spectroscopy of Quantum Dot Orbitals with In-Plane Magnetic Fields", *Physical Review Letters,* DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.207701.

[3] Peter Stano, et al. (2019), "Orbital effects of a strong in-plane magnetic field on a gate-defined quantum dot", *Physical Review B*, DOI: 10.1103/PhysRevB.99.085308.

[4] https://science.sciencemag.org/content/355/6321/156?panels_ajax_tab_tab=jnl_sci_top_topics&panels_ajax_tab_trigger=.

[5] https://www.nature.com/articles/s41567-019-0507-7.

[6] https://www.nature.com/articles/nature15759.