

KỶ NGUYÊN CỦA CÔNG NGHỆ LƯỢNG TỬ

ThS Lương Trường An

Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

“

Kỷ niệm 100 năm kể từ khi cơ học lượng tử ra đời, Tổ chức Giáo dục, Khoa học và Văn hóa của Liên hợp quốc (UNESCO) đã tuyên bố năm 2025 là Năm khoa học và công nghệ lượng tử quốc tế (International Year of Quantum Science and Technology - IQ) - nhằm nâng cao hiểu biết của công chúng về tầm quan trọng và ứng dụng của khoa học và công nghệ lượng tử. Ngoài việc tôn vinh những thành tựu trong quá khứ, IQ còn hướng đến mục tiêu truyền cảm hứng cho những nhà đổi mới trong tương lai, có khả năng định hình lại nhận thức toàn cầu và các chiến lược đầu tư trong lĩnh vực then chốt này.

”

Lượng tử trong cuộc sống của chúng ta

Cơ học lượng tử đang có mặt trong cuộc sống hằng ngày của chúng ta thông qua nhiều công nghệ hiện đại. Điện thoại thông minh dựa vào các nguyên lý lượng tử trong bóng bán dẫn và chất bán dẫn, cho phép tính toán nhanh, trong khi hệ thống GPS sử dụng đồng hồ nguyên tử có nguồn gốc từ lượng tử để tính thời gian chính xác. Điốt phát sáng (LED) trong màn hình và đèn chiếu sáng khai thác hiệu ứng lượng tử để phát ra ánh sáng hiệu quả, theo cùng cách mà hình ảnh y tế, như máy quét cộng hưởng từ (MRI), khai thác các đặc tính lượng tử của hạt nhân nguyên tử để tạo

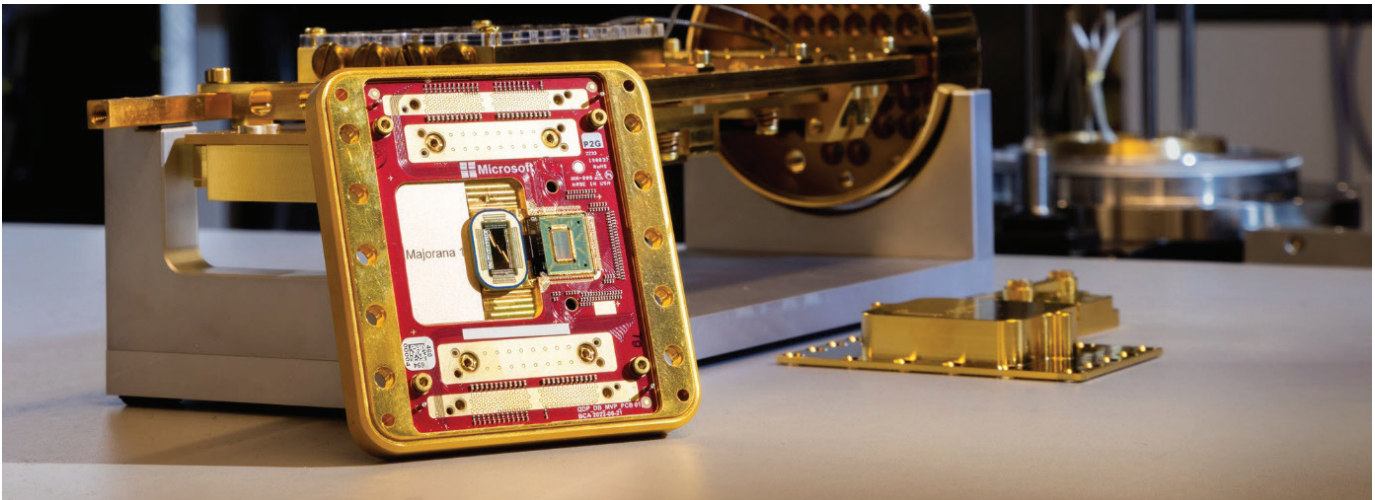
ra các bản quét chi tiết. Ngay cả các tấm pin mặt trời cũng phụ thuộc vào tương tác lượng tử để chuyển đổi ánh sáng mặt trời thành điện. Mặc dù chúng ta không trực tiếp nhìn thấy quá trình xử lý lượng tử, nhưng những công nghệ này đang âm thầm cung cấp năng lượng cho truyền thông, điều hướng, sức khỏe và năng lượng trong thói quen hàng ngày của chúng ta...

Điện toán lượng tử giải quyết các vấn đề toán học bằng cách thực hiện các mô hình lượng tử dựa trên những nguyên tắc của lý thuyết lượng tử. Điểm khác biệt giữa siêu máy tính với máy tính thông thường là phương pháp truyền dữ liệu; máy tính lượng tử sử dụng “bit lượng tử” hoặc qubit, cho phép quan sát và đo lường lượng dữ liệu khổng lồ. Sự tiến bộ này mang lại lợi ích cho các nhà khoa học dữ liệu, đặc biệt là về mặt xử lý dữ liệu và xử lý các tình huống phức tạp như hình thành phân tử.

Học máy lượng tử (QML) và trí tuệ nhân tạo lượng tử (QAI) dẫn đầu những tiến bộ lớn trong trí tuệ nhân tạo (AI). Những máy tính này được đào tạo tương tự như mạng nơ-ron, sử dụng các tham số điều khiển vật lý để giải quyết các vấn đề thông qua quá trình mã hóa.

Trong lĩnh vực không gian, lượng tử đóng góp ở nhiều cấp độ. Truyền thông lượng tử khai thác các nguyên tắc của cơ học lượng tử để bảo mật truyền thông không gian. Phân phối khóa lượng tử (QKD) công nghệ nổi bật trong lĩnh vực này. QKD sử dụng hiện tượng vướng víu lượng tử, tạo ra mối tương quan mạnh mẽ giữa các hạt bất kể khoảng cách giữa chúng. Bằng cách tận dụng sự vướng víu này, giao tiếp an toàn giữa hai bên được thực hiện, đảm bảo dữ liệu mã hóa được bảo mật ngay cả khi dữ liệu bị chặn. Trong thám hiểm không gian, QKD cung cấp khả năng bảo mật nâng cao cho các mạng lưới vệ tinh, trạm mặt đất và các sứ mệnh có người lái.

Cảm biến lượng tử đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao khả năng quan sát Trái đất. Các cảm biến này phát hiện những thay đổi nhỏ trong các đặc tính vật lý như trọng lực, từ trường và nhiệt độ, với độ nhạy rất cao. Trong không gian, máy đo từ lượng tử có thể theo dõi những thay đổi trong từ trường của Trái đất, hỗ trợ dự đoán thời tiết không gian và hiện tượng thời tiết mặt trời. Trên Trái đất, cảm biến lượng tử cải thiện đáng kể việc giám sát môi trường, cung cấp những hiểu biết có giá trị về cấu trúc địa chất, tài nguyên nước và thảm họa thiên nhiên...



Chip Majorana 1 được Microsoft ra mắt tháng 02/2025. Nguồn: microsoft.com.



Chính vì sự đóng góp đa dạng, hiệu quả này, Liên hợp quốc đã khẳng định: nghiên cứu phát triển khoa học lượng tử đóng góp quan trọng tới việc đạt được các Mục tiêu phát triển bền vững (SDGs).

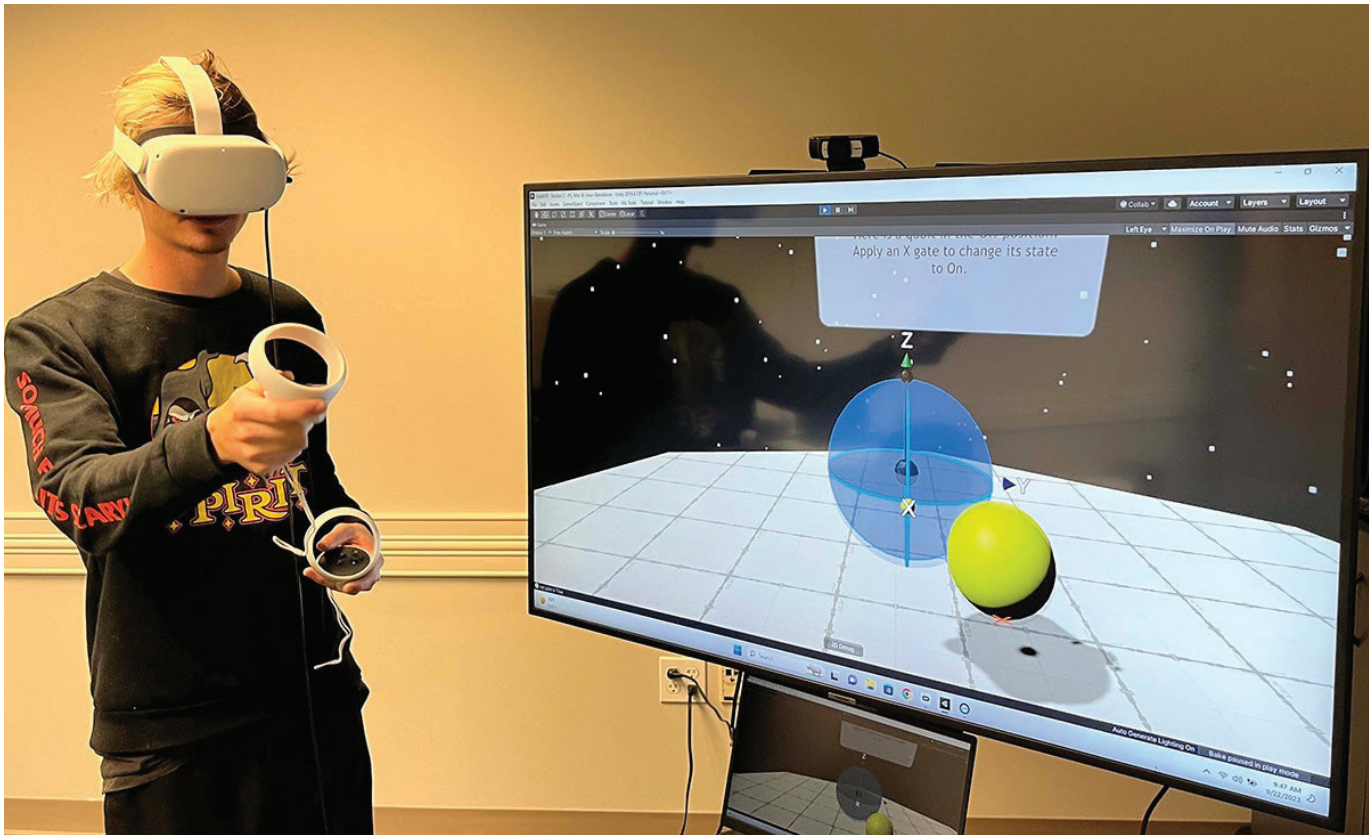
Tiến bộ lượng tử toàn cầu

Diễn đàn Kinh tế Thế giới (WEF) ước tính giá trị thị trường lên tới 72 tỷ USD cho máy tính lượng tử, 15 tỷ USD cho truyền thông lượng tử chỉ và 2,7 tỷ USD cho cảm biến lượng tử vào năm 2035. Mặc dù toàn bộ sức mạnh của công nghệ lượng tử chỉ có thể được khai thác trong ít nhất một thập kỷ nữa, tuy nhiên nhiều quốc gia, doanh nghiệp đã chuẩn bị cho sự bùng nổ của công nghệ này.

Năm 2019, Google đã đạt được bước đột phá về lượng tử khi thiết kế một cỗ máy chỉ mất 200 giây để giải quyết một vấn đề phức tạp mà một siêu máy tính phải mất 10.000 năm để tính toán. Đầu năm

2025, Microsoft công bố bước tiến đột phá trong lĩnh vực máy tính lượng tử khi sáng chế ra một loại chip lượng tử hoàn toàn mới mang tên Majorana 1. Chip Majorana 1 được kỳ vọng sẽ mở đường cho việc phát triển các hệ thống máy tính lượng tử với hàng triệu qubit trong không gian tương đối nhỏ gọn. Một máy tính lượng tử với 1 triệu qubit sẽ có khả năng tính toán vượt xa tổng công suất của tất cả các máy tính hiện có trên thế giới cộng lại.

Năm 2023, Công ty Ericsson (Thụy Điển) đã hợp tác với Đại học Ottawa và Đại học Sherbrooke của Canada để ra mắt một trung tâm nghiên cứu lượng tử đặt tại Montreal, Canada. Trung tâm nghiên cứu này sẽ mở đường cho việc chuyển đổi các quy trình trong mạng lưới viễn thông sử dụng các thuật toán dựa trên lượng tử.



Nghiên cứu sinh ngành khoa học máy tính tại Đại học Central Florida (Mỹ) trình diễn ứng dụng trong giờ học dạy về khoa học thông tin lượng tử. Nguồn: www.ucf.edu.

Nhận ra tiềm năng to lớn của công nghệ lượng tử, Vương quốc Anh đã cho ra đời Chiến lược lượng tử quốc gia vào năm 2023. Chiến lược có tầm nhìn 10 năm, đề ra mục tiêu đưa Vương quốc Anh lên vị trí hàng đầu trong các nền kinh tế ứng dụng lượng tử.

Cũng trong năm 2023, Tập đoàn Nokia (Phần Lan) đã hoàn thành thử nghiệm mạng lưới an toàn lượng tử lai (QSN) nhằm chống lại các cuộc tấn công mạng cấp lượng tử trong tương lai. Hiện tại, Nokia đang tập trung vào các dự án liên quan đến internet lượng tử, bộ lập, lý thuyết thông tin và truyền thông lượng tử quang học.

Năm 2024, Diễn đàn Kinh tế thế giới (WEF) đã công bố Kế hoạch kinh tế lượng tử để hỗ trợ các khu vực và quốc gia trong việc phát triển và thương mại hóa các sáng kiến về công nghệ lượng tử. Lộ trình này được thiết lập để cung cấp khuôn khổ cho việc xây dựng hệ sinh thái lượng tử quốc gia.

Với mong muốn cách mạng hóa tăng trưởng kinh tế bằng cách tận dụng những tiến bộ công nghệ mới, khu vực Trung Đông cũng đầu tư mạnh vào điện toán lượng tử. Năm 2018, với sự hợp tác của Microsoft, Cơ quan Điện và Nước Dubai (DEWA) đã tạo điều kiện cho chương trình đào tạo điện toán lượng tử toàn diện đầu tiên, phát triển các giải pháp điện toán lượng tử để sản xuất, truyền tải và phân phối năng lượng và nước trong các Tiểu vương quốc Ả Rập Thống nhất. Viện Đổi mới Công nghệ (TII) của Abu Dhabi đã khánh thành Trung tâm Nghiên cứu lượng tử (QRC) và công bố kế hoạch xây dựng máy tính lượng tử đầu tiên của khu vực UAE và Hội đồng Hợp tác vùng Vịnh (GCC). Bên cạnh đó, TII đã ra mắt Trạm quang học lượng tử Abu Dhabi (ADQOGS) rộng 2.363 m² vào đầu năm nay, để phát triển các phương tiện truyền thông toàn cầu cực kỳ an toàn.

Đại học Hamad Bin Khalifa (HBKU) của Qatar cũng đã thành lập Trung tâm điện toán lượng tử Qatar (QC2), tập trung vào điện toán lượng tử, mật mã và AI lượng tử. Sáng kiến này nhằm mục đích

đạt được Chương trình nghị sự kỹ thuật số 2030 của Qatar, củng cố vị thế của nước này như một đối tác toàn cầu trong các công nghệ hiện đại. Ooredoo Qatar, nhà khai thác viễn thông hàng đầu của nước này, gần đây đã đầu tư vào QC2 để hỗ trợ việc thành lập cơ sở thử nghiệm truyền thông lượng tử đầu tiên của quốc gia này.

Ở khu vực châu Á, Israel đã có hệ sinh thái lượng tử phát triển khá mạnh. Một trong những học viện công nghệ hàng đầu của Israel - The Technion, đang cung cấp các cơ hội giảng dạy, nghiên cứu đẳng cấp thế giới về khoa học và công nghệ lượng tử, và đã đạt được bước đột phá trong nghiên cứu phát triển kính hiển vi lượng tử. Israel tài trợ cho đổi mới lượng tử thông qua cả vốn đầu tư mạo hiểm và quỹ công. Ở khu vực Đông Nam Á, Singapore và Malaysia cũng đã xây dựng chương trình hỗ trợ nghiên cứu và phát triển lượng tử.

Các nhà hoạch định chính sách cần làm gì?

Công nghệ lượng tử đang phát triển nhanh chóng, với tiềm năng chuyển đổi các ngành công nghiệp, giải quyết các thách thức của xã hội và định hình an ninh quốc gia. Mặc dù nhiều ứng dụng vẫn đang trong giai đoạn đầu, nhưng tác động của chính sách là rất lớn và đòi hỏi các chính phủ phải chuẩn bị cho cả những cơ hội và rủi ro mà tiến bộ lượng tử mang lại. Trước mắt, các nhà hoạch định chính sách cần chú trọng các vấn đề sau:

Quản lý rủi ro mới phát sinh: Mặc dù công nghệ lượng tử có triển vọng to lớn, nhưng chúng cũng gây ra những rủi ro đáng kể, đặc biệt là đối với bảo mật và quyền riêng tư kỹ thuật số. Máy tính lượng tử có thể phá vỡ các hệ thống mật mã đang được sử dụng rộng rãi, làm lộ dữ liệu tài chính nhạy cảm cũng như cơ sở hạ tầng quan trọng. Trong khi đó, độ nhạy cực cao của cảm biến lượng tử làm dấy lên mối lo ngại về giám sát và quyền riêng tư. Các nhà hoạch định chính sách phải lường trước những rủi ro này. Mặc dù các tiêu chuẩn mật mã hậu lượng



tử mới đã tồn tại, việc áp dụng rộng rãi vẫn cần có thời gian. Quản trị tích cực và minh bạch trong các ứng dụng lượng tử là điều cần thiết để bảo vệ niềm tin của công chúng đồng thời thúc đẩy đổi mới sáng tạo trong lĩnh vực này.

Đầu tư vào nghiên cứu và phát triển: Khả năng thương mại hóa của nhiều ứng dụng điện toán lượng tử vẫn chưa chắc chắn, đồng thời việc phát triển các công nghệ lượng tử đòi hỏi phải đầu tư đáng kể vào nghiên cứu cơ bản và ứng dụng. Do đó, các chính phủ cần tăng cường tài trợ nghiên cứu và phát triển trong lĩnh vực lượng tử, chú trọng các quan hệ đối tác công tư để đặt nền tảng cho các đột phá trong tương lai. Đặc biệt, các khoản đầu tư của chính phủ sẽ rất có ý nghĩa đối với các doanh nghiệp vừa và nhỏ, các tổ chức học thuật, giúp họ phát huy tối đa năng lực đổi mới sáng tạo.

Chú trọng đào tạo con người và chuỗi cung ứng nguyên liệu: Sự phát triển của các công nghệ lượng tử có nguy cơ vượt xa khả năng cung cấp lao động lành nghề, tạo ra nhu cầu ngày càng tăng về giáo dục và đào tạo lực lượng lao động mới. Hiện nay, việc đưa các kiến thức lượng tử - bao gồm lý thuyết, thuật toán và điện toán vào chương trình giảng dạy từ cuối cấp phổ thông trung học đến đại học là cần thiết. Trong đó, đào tạo thực hành về phần cứng và phần mềm lượng tử cần được chú trọng. Một số chính phủ đang điều chỉnh các chương trình giáo dục và giới thiệu các khóa đào tạo liên quan

tới lượng tử để chuẩn bị lực lượng chuyên gia cần thiết trong tương lai. Quan trọng không kém là chuỗi cung ứng nguyên liệu, các nhà hoạch định chính sách cần quan tâm tới nguồn cung cấp các nguyên liệu thô quan trọng, chẳng hạn như đất hiếm.

Tăng cường hợp tác quốc tế: Sự hợp tác toàn cầu đóng vai trò quan trọng để đảm bảo sự hòa nhập và đổi mới lượng tử có trách nhiệm. Tuy nhiên, cân bằng giữa an ninh nghiên cứu và các mối quan tâm khác với nhu cầu tin tưởng và cởi mở trong các quan hệ đối tác quốc tế sẽ là chìa khóa để khai thác toàn bộ tiềm năng của lĩnh vực này. Các nhà hoạch định chính sách cũng nên chuẩn bị cho cả tiến trình dần dần và đột phá đột ngột. Một bước nhảy vọt trong các công nghệ lượng tử có thể định hình lại các ngành công nghiệp chỉ sau một đêm. Điều này có thể làm lộ ra các lỗ hổng trong khuôn khổ bảo mật kỹ thuật số hoặc quyền riêng tư, khiến các bên liên quan chưa chuẩn bị gặp rắc rối.

*
* *

Thế giới đang đứng bên ranh giới của một cuộc cách mạng lượng tử, có thể sẽ thay đổi cách chúng ta sống và làm việc. Đứng trước kỷ nguyên công nghệ lượng tử, các chính phủ, nhà nghiên cứu và nhà hoạch định chính sách phải có sự chuẩn bị mọi mặt để thiết lập một hệ sinh thái lượng tử an toàn. Chỉ có như vậy mới có thể khai thác sức mạnh của công nghệ lượng tử để phục vụ cho sự tiến bộ và phát triển của nhân loại ✍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2025), "Launch of the International Year of Quantum Science and Technology in Geneva", <https://www.unesco.org/en/articles/launch-international-year-quantum-science-and-technology-geneva>, truy cập ngày 27/02/2025.
2. Telecomreview (2025a), "Quantum's Big Bang: Why 2025 will be a defining year", <https://www.telecomreview.com/articles/reports-and-coverage/8921-quantum-s-big-bang-why-2025-will-be-a-defining-year>, truy cập ngày 28/02/2025.
3. Telecomreview (2025b), "Navigating the era of quantum technologies", <https://www.telecomreview.com/articles/reports-and-coverage/8416-navigating-the-era-of-quantum-technologies>, truy cập ngày 28/02/2025.
4. A. Barreneche, E.T. Raynaud (2025), "A policymaker's guide to quantum technologies in 2025", <https://www.oecd.org/en/blogs/2025/02/a-policymakers-guide-to-quantum-technologies-in-2025.html>, truy cập ngày 28/02/2025.