

	VIETTEL AI RACE	TD093
	Máy Tính Quang Học (Photonic Computing) Cho AI Thế Hệ Tiếp Theo	Lần ban hành: 1

## 1. Giới thiệu

Máy tính điện tử truyền thống dựa trên electron đã đạt tới giới hạn về tốc độ và tiêu thụ năng lượng, đặc biệt khi xử lý các mô hình trí tuệ nhân tạo (AI) khổng lồ với hàng tỷ tham số. **Máy tính quang học (Photonic Computing)** nổi lên như một giải pháp đột phá, khai thác **photon** – hạt ánh sáng – để truyền và xử lý thông tin.

Photon di chuyển gần như **tức thời** và không sinh nhiệt đáng kể, giúp máy tính quang học đạt **tốc độ xử lý cao gấp hàng trăm lần** và giảm tiêu thụ năng lượng so với mạch điện tử. Công nghệ này được coi là nền tảng cho **AI thế hệ tiếp theo**, điện toán lượng tử lai và các trung tâm dữ liệu siêu hiệu suất.

## 2. Vì sao lại là photon?

- Photon – hạt ánh sáng – sở hữu nhiều ưu điểm vượt trội:
  - Di chuyển nhanh gần như không tổn hao, dễ dàng truyền tải qua cáp quang và không cần làm lạnh đến nhiệt độ cực thấp như các qubit siêu dẫn.
  - Khả năng chống nhiễu tốt, giúp duy trì trạng thái lượng tử (coherence) lâu hơn.
  - Tích hợp hạ tầng viễn thông quang học sẵn có, mở ra tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong mạng lượng tử và điện toán phân tán.

Cách hoạt động của máy tính lượng tử quang tử. Máy tính lượng tử quang tử không dựa trên mạch bán dẫn truyền thống, mà sử dụng:

- **Qubit quang tử:** mã hóa thông tin vào trạng thái phân cực, pha hoặc số photon.
- **Mạng lưới quang tử (photonic circuits):** chip silicon tích hợp với bộ chia chùm (beam splitter), bộ dịch pha (phase shifter) để điều khiển photon.
- **Phép đo lượng tử:** sử dụng cảm biến siêu nhạy để đọc kết quả tính toán.

	<b>VIETTEL AI RACE</b>	TD093
	<b>Máy Tính Quang Học (Photonic Computing) Cho AI Thế Hệ Tiếp Theo</b>	Lần ban hành: 1

### 3. Nguyên lý hoạt động

- **Truyền dữ liệu bằng photon:** Thay vì electron chạy qua dây dẫn, photon di chuyển qua các sợi quang hoặc mạch quang tích hợp.
- **Tính toán trong miền quang:** Các phần tử như **bộ tách chùm, giao thoa kế Mach–Zehnder** và **lưới dẫn sóng silicon** thực hiện các phép nhân–cộng ma trận trực tiếp bằng ánh sáng.
- **Xử lý song song tự nhiên:** Nhiều bước sóng (đa kênh) có thể truyền đồng thời trong một sợi quang, cho phép **tính toán song song khối lượng lớn**.
- **Chuyển đổi quang–điện:** Kết hợp cảm biến quang và bộ tách tín hiệu điện để tương thích với hệ thống điện tử hiện có.

### 4. Ưu thế vượt trội

- **Tốc độ cực cao:** Truyền dữ liệu gần tốc độ ánh sáng, băng thông hàng terabit/giây.
- **Tiêu thụ năng lượng thấp:** Giảm nhiệt và nhu cầu làm mát so với chip điện tử.
- **Khả năng mở rộng:** Hỗ trợ mô hình AI lớn mà không tăng đột biến chi phí năng lượng.
- **Xử lý song song:** Đa kênh quang cho phép tính toán đồng thời nhiều phép toán ma trận – cốt lõi của huấn luyện deep learning.

### 5. Ứng dụng trong trí tuệ nhân tạo

- **Huấn luyện mô hình lớn:** Giảm thời gian huấn luyện từ nhiều tuần xuống vài ngày.

	<b>VIETTEL AI RACE</b>	TD093
	<b>Máy Tính Quang Học (Photonic Computing) Cho AI Thế Hệ Tiếp Theo</b>	Lần ban hành: 1

- **Suy luận thời gian thực:** Hỗ trợ AI biên (edge AI) và robot tự hành với độ trễ cực thấp.
- **Xử lý hình ảnh và video:** Tăng tốc các mạng CNN và Transformer cho thị giác máy tính.
- **Xử lý ngôn ngữ tự nhiên:** Đẩy nhanh các tác vụ như dịch tự động, tổng hợp văn bản.

## 6. Hạ tầng công nghệ

- **Mạch quang tích hợp (Photonic Integrated Circuit – PIC):** Kết hợp hàng nghìn linh kiện quang trên chip silicon.
- **Laser bán dẫn siêu nhỏ:** Cung cấp nguồn photon ổn định cho tính toán.
- **Vật liệu đặc biệt:** Silicon nitride, graphene và hợp chất III-V cho phép điều khiển ánh sáng chính xác.
- **Ghép nối với điện toán lượng tử:** Photon có thể truyền qubit lượng tử bền vững hơn electron.

## 7. Thách thức hiện tại

- **Kích thước và độ chính xác chế tạo:** Yêu cầu công nghệ in nano chính xác cao.
- **Tương thích với phần mềm:** Cần thư viện và thuật toán tối ưu cho mạch quang.
- **Chi phí ban đầu:** Sản xuất chip quang vẫn đắt hơn silicon truyền thống.
- **Chuyển đổi quang–điện:** Mỗi lần chuyển đổi làm giảm hiệu suất, cần giải pháp lai tối ưu.

## 8. Tiến bộ nghiên cứu và thương mại hóa

	<b>VIETTEL AI RACE</b>	TD093
	<b>Máy Tính Quang Học (Photonic Computing) Cho AI Thế Hệ Tiếp Theo</b>	Lần ban hành: 1

- **Lightmatter & Lightelligence:** Phát triển bộ gia tốc AI quang học, đạt hiệu năng vượt GPU cao cấp.
- **MIT & Stanford:** Trình diễn mạng nơ-ron quang học trên chip, huấn luyện trực tiếp bằng ánh sáng.
- **Google & Microsoft:** Nghiên cứu kết hợp quang học với điện toán lượng tử cho trung tâm dữ liệu.

## 9. Tác động kinh tế – xã hội

- **Trung tâm dữ liệu xanh:** Giảm tiêu thụ điện hàng tỷ kWh mỗi năm.
- **Thúc đẩy AI không lỗ:** Cho phép các mô hình ngôn ngữ, hình ảnh vượt mức hiện tại mà vẫn khả thi về chi phí.
- **Y tế và khoa học:** Tăng tốc phân tích gen, mô phỏng thuốc, và xử lý hình ảnh y khoa.
- **Viễn thông và tài chính:** Hỗ trợ giao dịch tốc độ cực cao và mạng 6G/7G tương lai.

## 10. Xu hướng tương lai

- **Chip quang – điện lai (Hybrid Photonic-Electronic):** Kết hợp điểm mạnh của cả hai thế giới.
- **Vật liệu 2D:** Graphene và perovskite nâng cao độ bền và linh hoạt.
- **AI tự tối ưu thiết kế mạch:** Dùng học sâu để bố trí linh kiện quang tối ưu cho từng tác vụ.
- **Máy tính quang lượng tử:** Kết hợp tính chất photon và qubit cho siêu máy tính thế hệ mới.

## 11. Tương lai gần

- Các công ty như PsiQuantum, Xanadu và QuiX Quantum đang đua nhau phát triển các nguyên mẫu máy tính lượng tử quang tử có thể mở rộng.

	<b>VIETTEL AI RACE</b>	TD093
	<b>Máy Tính Quang Học (Photonic Computing) Cho AI Thế Hệ Tiếp Theo</b>	Lần ban hành: 1

Một số thử nghiệm đã chứng minh khả năng đạt “tính ưu việt lượng tử” (quantum advantage) trong những bài toán mẫu. Nếu vượt qua các thách thức kỹ thuật, đây có thể là con đường khả thi nhất để hiện thực hóa máy tính lượng tử thương mại trong thập kỷ tới.

- Máy tính lượng tử quang tử chính là cuộc cách mạng dựa trên ánh sáng, có thể định hình lại toàn bộ ngành khoa học, công nghệ và nền kinh tế tri thức toàn cầu.