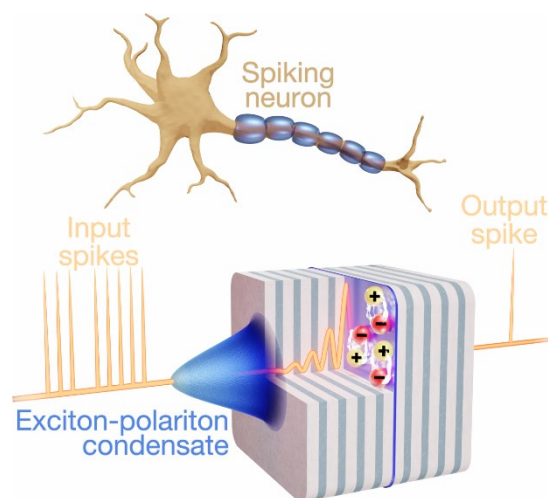


W latach dziewięćdziesiątych XX wieku naukowcy zajmujący się neurobiologią wykazali, że pojedynczy obszar kory mózgowej makaków jest w stanie analizować i klasyfikować wzorce wzrokowe w ciągu zaledwie 30 ms, mimo iż każdy z neuronów uczestniczących w tym procesie w tym samym czasie wysyła mniej niż 3 komunikaty w postaci impulsów elektrycznych. Jest to możliwe dzięki dużej liczbie połączeń między neuronami (tak zwanych synaps) w sieci neuronowej mózgu makaka. Podobnie ludzki mózg, który uważa się za jeden z najbardziej złożonych systemów we wszechświecie, ma około 100 miliardów neuronów, a każdy neuron jest połączony z 10 tysiącami innych za pośrednictwem niezliczonych synaps. Mózg zdolny do jednoczesnego rozpoznawania, rozumowania, sterowania ruchem wykonuje biliony operacji na sekundę, zużywając tylko 20 - 25 W mocy. Dla porównania, konwencjonalne procesory wymagają taktowania rzędu gigaherców ( $10^9$  Hz) i zużywają około 250 W, aby móc rozpoznać tylko 1000 różnych rodzajów obiektów. Ta oszałamiająca różnica i wyjątkowa wydajność mózgu wynikają po części z biochemii neuronów, architektury połączeń nerwowych oraz biofizyki neuronowych algorytmów obliczeniowych. Nic więc dziwnego, że naukowcy zainteresowali się możliwością zaimplementowania sposobu działania mózgu we współczesnych systemach obliczeniowych. Ponieważ apetyt społeczeństwa na informacje stale rośnie, rośnie też potrzeba przetwarzania tych informacji coraz szybciej i bardziej wszechstronnie. Wielu uważa, że konwencjonalne systemy komputerowe mogą nie sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu na większą moc obliczeniową, przy jednoczesnym zwiększaniu efektywności energetycznej. Tak zwane neuromorficzne układy obliczeniowe (czyli inspirowane działaniem ludzkiego mózgu) mogą jednocześnie przewyższyć obydwa ograniczenia. Aby to osiągnąć, muszą wykorzystywać nie tylko biologiczną architekturę pulsujących sieci neuronowych, ale także paradygmat obliczeniowy oparty na kodowaniu informacji za pomocą impulsów.



Jedno z rozwiązań spełniających te wymagania opiera się na wykorzystaniu fotonów w sposób umożliwiający tworzenie pulsujących sieci neuronowych w ramach koncepcji fotoniki neuromorficznej. Systemy fotoniczne zapewniają komunikację z prędkością światła, niskie straty i niskie zużycie energii. Jednak ponieważ fotony oddziałują ze sobą w sposób relatywnie słaby, ciężko jest zmusić je do interakcji umożliwiających wykonywanie złożonych operacji obliczeniowych, w sposób analogiczny do układów elektronicznych. Ten słaby charakter oddziaływań międzyfotonowych jest ich nieodłączną właściwością.

W naszych badaniach proponujemy rozwiązanie, w którym fotony silnie oddziałują z cząstkami podobnymi do materii zwanymi ekscytonami. To silne oddziaływanie jest możliwe, gdy fotony oraz ekscytony zostają uwięzione razem w tak zwanej optycznej mikrowęcce, co wymusza cykliczną wymianę energii między nimi. Ten rodzaj synergii generowany w mikrowęcce między fotonem i ekscytonem jest tak trwały, że fizycy określają go mianem quasi-cząstki zwanej w skrócie polarytonem. Polarytony mają wyjątkowe właściwości, przede wszystkim w odpowiednich warunkach mogą ulegać przejściu w stan skupienia zwany kondensatem Bosego-Einsteina. W takim stanie, wcześniej niezależne, liczne polarytony stają się nierozróżnialne i zaczynają zbiorowo oscylować. Opierając się na naszym ostatnim eksperymencie, jako pierwsi zauważyliśmy, że kiedy polarytony są wzbudzone za pomocą impulsów laserowych, emitują impulsy światła w sposób naśladujący pulsowanie neuronów biologicznych. Efekt ten jest bezpośrednio związany ze zjawiskiem kondensacji Bosego-Einsteina, które albo hamuje, albo wzmacnia emisję impulsów.

W ramach proponowanego projektu, w oparciu o zaobserwowane właściwości polarytonów, planujemy zbudować sztuczny neuron optyczny. W celu sprawdzenia naszej koncepcji użyjemy serii impulsów laserowych imitujących pulsujące sygnały nerwowe do pobudzenia mikrowęcki. Naszym celem jest wykorzystanie fizycznych właściwości polarytonów w sposób który pozwoli nie tylko na przetwarzanie sztucznych sygnałów nerwowych w dziedzinie optycznej ale również umożliwi komunikację między wieloma optycznymi neuronami. Wierzmy, że wykorzystanie wyjątkowych właściwości polarytonów do budowy pulsujących sieci neuronowych przybliży nas do osiągnięcia ostatecznego celu jakim jest budowa fonicznego procesora neuromorficznego.

Do tej pory ścieżka rozwoju układów neuromorficznych była pełna wyzwań, a technologia jest daleka od optymalnej. To przekonuje nas, że wciąż istnieje duże pole do dalszych ulepszeń i należy poszukiwać nowych rozwiązań.