



Warszawa, 24 października 2022

Sztuczny neuron polarytonowy krokiem na drodze do stworzenia układu fotonicznego naśladującego działaniem ludzki mózg

Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego oraz Polskiej Akademii Nauk wykorzystali fotony do stworzenia pulsującego neuronu, czyli podstawowego elementu przyszłego fotonicznego procesora sieci neuronowych. Tzw. układy neuromorficzne, czyli naśladujące działaniem biologiczny mózg, nad którymi pracują badacze, są przyszłością sztucznej inteligencji, pozwalają bowiem na zdecydowanie szybsze i efektywniejsze przetwarzanie informacji. O rezultatach pracy naukowców możemy przeczytać w najnowszym „Laser and Photonics Review”.

Mózgi ssaków są jednymi z najbardziej złożonych, a zarazem wydajnych systemów na świecie. Już w latach 90-tych 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 milisekund, mimo iż każdy z neuronów uczestniczących w tym procesie w tym samym czasie wysyła mniej niż trzy komunikaty w postaci impulsów elektrycznych. Jest to możliwe dzięki dużej liczbie synaps – połączeń między neuronami – w sieci neuronowej mózgu makaka.

Ludzki mózg jest jeszcze potężniejszą maszyną. Zbudowany jest ze 100 miliardów neuronów, z których każdy tworzy średnio kilka tysięcy połączeń z innymi komórkami nerwowymi. Tworzy to sieć złożoną z ok. 100 bilionów połączeń, dzięki której nasz mózg zdolny do jednoczesnego rozpoznawania, rozumowania, sterowania ruchem – wykonuje biliony operacji na sekundę, zużywając zaledwie 20 – 25 watów mocy. Dla porównania, konwencjonalne procesory zużywają dziesięć razy tyle mocy, aby rozpoznać zaledwie tysiąc różnych rodzajów obiektów. Ta oszałamiająca różnica i wyjątkowa wydajność mózgu wynikają m.in. z biochemii neuronów, architektury połączeń nerwowych oraz biofizyki neuronowych algorytmów obliczeniowych.

Apetyt społeczeństwa na informacje stale rośnie, wzrasta też potrzeba przetwarzania tych informacji coraz szybciej i bardziej wszechstronnie. Konwencjonalne systemy komputerowe mogą nie sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu na większą moc obliczeniową, przy jednoczesnym zwiększaniu efektywności energetycznej. Rozwiązaniem problemu mogą być tzw. sieci neuromorficzne, które naśladują działaniem biologiczny mózg. Są one przyszłością sztucznej inteligencji, pozwalają bowiem na zdecydowanie szybsze i efektywniejsze przetwarzanie informacji w takich zadaniach jak np. rozpoznawanie obrazów.

Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego oraz Polskiej Akademii Nauk w pracy opublikowanej w „Laser and Photonics Review” zaproponowali wykorzystanie fotonów w sposób umożliwiający tworzenie pulsujących sieci neuronowych. Dr Krzysztof

Tyszka z Wydziału Fizyki UW, który jest pierwszym autorem pracy, podkreśla, że systemy fotoniczne zapewniają komunikację z prędkością światła, niskie straty i niskie zużycie energii. Zaletą fotonów jest to, że ich propagacja odbywa się praktycznie bez strat energii. – Niestety w związku z tym, że oddziałują one ze sobą w sposób relatywnie słaby, ciężko wykorzystać je do wykonywania operacji obliczeniowych w sposób analogiczny do układów elektronicznych – dodaje naukowiec.

Dlatego badacze postanowili sięgnąć po rozwiązanie, w którym fotony silnie oddziałują z cząstkami o bardzo małej masie, zwanymi ekscytonami – Silne oddziaływanie uzyskuje się umieszczając fotony oraz ekscytony razem w optycznej mikrownęce. Zabieg ten wymusza cykliczną wymianę energii między nimi. Ten rodzaj synergii jest tak trwały, że fizycy określają go mianem kwazicząstki zwanej w skrócie polarytonem – wyjaśnia prof. Barbara Piętka z Laboratorium Polarytonowego na Wydziale Fizyki UW.

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. – Opierając się na naszym ostatnim eksperymencie, jako pierwsi zauważyliśmy, że kiedy polarytony są wzbudzane za pomocą impulsów laserowych, emitują impulsy światła przypominające pulsowanie neuronów biologicznych – opisuje Magdalena Furman, doktorantka zaangażowana w badania w laboratorium Polarytonowym na Wydziale Fizyki UW. – Efekt ten jest bezpośrednio związany ze zjawiskiem kondensacji Bosego-Einsteina, które albo hamuje, albo wzmacnia emisję impulsów.

Dr Andrzej Opala, z Instytutu Fizyki PAN, który razem z prof. Michałem Matuszewskim opracował model teoretyczny łączący badania nad polarytonami z modelem neuronu LIF (Leaky Integrate-and-Fire) dodaje, że teraz grupa pracuje nad rozwiązaniem problemu skalowalności, czyli połączenia wielu neuronów w sieć. – Proponujemy wykorzystać nowy paradygmat obliczeniowy oparty na kodowaniu informacji za pomocą impulsów, które wyzwalają sygnał tylko wtedy, gdy przybędą do neuronu w odpowiednim czasie po sobie – wyjaśnia naukowiec. Obecnie tzw. sieci neuronowe wykorzystują warstwy połączonych ze sobą neuronów, które wyzwalają impulsy na podstawie przypisanej do każdego połączenia ważności (w opisie matematycznym mówimy o "wagach"). W odróżnieniu od tego typu rozwiązań, w optycznej sieci neuronowej opisanej w publikacji „Laser and Photonics Review”, neurony są wyzwalone (czyli stają się aktywne) w odpowiedzi na ciąg impulsów, które mogą mieć różną intensywność i różne odstępy czasowe. Tak jak w przypadku neuronów biologicznych, które są pobudzane impulsami elektrycznymi, istnieje pewien próg, powyżej którego ten ciąg impulsów docierających do neuronu uruchamia sygnał, który będzie przekazywany dalej. Polarytony pozwalają na naśladowanie układu biologicznego, gdyż dopiero pobudzenie odpowiednią liczbą fotonów, powyżej pewnego progu, prowadzi do powstania kondensatu Bosego-Einsteina, a w efekcie do emisji, kilkudziesięciopikosekundowego impulsu światła będącego sygnałem dla kolejnego neuronu.

Próbka, która posłużyła naukowcom na uwięzienie fotonów i obserwację kondensatu polarytonów ekscytonowych, została zsyntetyzowana na Wydziale Fizyki UW, w grupie prof. Wojciecha Pacuskiego. Naukowcy ułożyli atomy różnego rodzaju kryształów półprzewodnikowych warstwa po warstwie w procesie epitaksji z wiązki molekularnej tworząc prototypowy neuron foniczny. Do uzyskania stanu kondensatu Bosego-Einsteina wymagana była temperatura 4 kelwinów, osiągnięta w ciekłym helu. – Naszym kolejnym celem jest przeniesienie eksperymentu z warunków kriogenicznych do temperatury pokojowej – mówi prof. Jacek Szczytko z Wydziału Fizyki UW. – Potrzebne są badania

nad nowymi materiałami, które pozwolą na uzyskanie kondensatów Bosego-Einsteina także w wysokich temperaturach. W Laboratorium Polarytonowym pracujemy nie tylko nad takimi substancjami, badamy też możliwość sterowania kierunkiem emitowanych fotonów – dodaje naukowiec. Aby neurony fotoniczne połączyły się w sieć muszą one być w stanie przesyłać sobie nawzajem sygnały. Najlepiej byłoby, gdyby kierunek przesyłu, czyli schemat połączeń, mógł być łatwo zmieniany w zależności od potrzeb.

– W badaniach nad układami neuromorficznymi naukowcy wciąż napotykają na nowe wyzwania. Nasz nowy pomysł na odtworzenie pulsowania neuronów biologicznych w domenie optycznej, może posłużyć do stworzenia sieci, a potem układu neuromorficznego, w którym informacje przesyłane są o rzędy wielkości szybciej i w sposób bardziej efektywny energetycznie w porównaniu do dotychczasowych rozwiązań – podsumowuje dr Krzysztof Tyszką.

Międzynarodowy zespół naukowców prowadził badania wspierane m.in. przez Narodowe Centrum Nauki (granty 2020/37/B/ST3/01657, 2020/04/X/ST7/01379, 2020/36/T/ST3/00417), Centrum Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej UW oraz program Unii Europejskiej FET-Open Horyzont 2020, grant „TopoLight” (964770).

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego:

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1100 studentów i ok. 170 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 75 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

K. Tyszką, M. Furman, R. Mirek, M. Król, A. Opala, B. Seredyński, J. Suffczyński, W. Pacuski, M. Matuszewski, J. Szczytko, B. Piętka *Leaky Integrate-and-Fire Mechanism in Exciton-Polariton Condensates for Photonic Spiking Neuron*

Laser & Photonics Rev. 2022, 2100660
<https://doi.org/10.1002/lpor.202100660>

KONTAKTY:

Krzysztof Tyszką
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
email: krzysztof.tyszka@fuw.edu.pl
tel. +48 55 32 749

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://polariton.fuw.edu.pl/>
Strona Grupy Polarytonowej

<https://www.fuw.edu.pl>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

<https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW221024b_fot01

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2022/FUW221024b_fot01.png

Mikrownęka optyczna jako pulsujący neuron (wizualizacja: Mateusz Król, źródło Wydział Fizyki UW).

FUW221024b_fot02

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2022/FUW221024b_fot02.png

Mikrownęka optyczna jako pulsujący neuron (wizualizacja: Mateusz Król, źródło Wydział Fizyki UW).