

Kwantowe płyny światła jako nowa platforma do realizacji neuromorficznych układów obliczeniowych

A. Opala

¹*Instytut Fizyki
Polskiej Akademii Nauk,
al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa*
²*Instytut Fizyki Doświadczalnej,
Wydział Fizyki,
Uniwersytet Warszawski,
ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa*
e-mail: andrzej.opalai@fuw.edu.pl

W ostatnich latach jesteśmy świadkami gwałtownego rozwoju sztucznej inteligencji oraz badań nad zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych. Wykorzystanie uczenia maszynowego do przetwarzania informacji wpisało się już na stałe we współczesne realia, ułatwiając realizację nawet bardzo złożonych zadań.

Szacuje się, że w najbliższych latach zużycie energii, niezbędnej do przetwarzania informacji (a w tym uczenia maszynowego), będzie stanowiło znaczną część globalnego zapotrzebowania energetycznego. Perspektywa ta, w połączeniu z ograniczeniem stosowalności prawa Moore'a, obliguje nas do poszukiwania nowych układów obliczeniowych, które pozwoliłyby na wyjście poza ograniczenia klasycznej architektury komputerowej. Układy te powinny charakteryzować się zarówno wysoką wydajnością jak i energooszczędnością. Wyżej wymienione cele przyświecały idei stworzenia tzw. neuromorficznych układów obliczeniowych.

Układy neuromorficzne są to złożone układy obliczeniowe, inspirowane wewnętrzną strukturą ludzkiego mózgu. Pojęciem tym określane są realizacje sprzętowe, bazujące na wykorzystaniu przyrządów elektronicznych oraz fotonicznych. Uważa się, że to właśnie układy optyczne pozwolą na przełamanie technologicznych ograniczeń, zapewniając wysoką przepustowość przesyłania danych, energooszczędność oraz szybkość działania. Należy jednak podkreślić, że efektywne przetwarzanie informacji (np. przy wykorzystaniu sieci neuronowych) wymaga realizacji operacji nieliniowych. Niestety fotony w sposób naturalny nie oddziałują ze sobą, co utrudnia zastosowanie ich do obliczeń w praktyce.

W celu uzyskania silnych nieliniowych oddziaływań pomiędzy „fotonami” należy sprząc je w ośrodku materialnym. W tym celu konstruuje się specjalne mikrownęki rezonansowe. Mikrownęki te zawierają ośrodek aktywny w postaci studni kwantowych, w których dochodzi do koherentnego sprzężenia pomiędzy falą elektromagnetyczną a ekscytonem. Skutkiem czego jest powstanie kwantowej kwazicząstki zwanej polarytonem ekscytonowym.

Polarytony ekscytonowe mają unikalne właściwości, będące konsekwencją ich hybrydowej natury. Wykazują zarówno znakomite właściwości transportowe (przez wzgląd na niską masę efektywną), jak i silne nieliniowe oddziaływania. Nieliniowość obserwowana w układach polarytonowych ma charakter trzeciorzędowy i określana jest mianem nieliniowości typu Kerra. Dodatkowo polarytony ekscytonowe należą do grupy złożonych bozonów, posiadających zdolność do tworzenia nierównowagowych kondensatów. Kondensaty te zwane są w literaturze kwantowymi cieczami światła.

Na przełomie ostatnich lat wykazaliśmy, że polarytony ekscytonowe stanowią unikalną platformę fizyczną do realizacji neuromorficznych układów obliczeniowych. Niniejsze seminarium poświęcone będzie przeglądowi najważniejszych osiągnięć w zastosowaniu polarytonów do realizacji sztucznych sieci neuronowych. Wprowadzone zostaną polarytonowe sieci neuronowe o architekturze typu skierowanego oraz rekurencyjnego. Przedstawione będą fizyczne analogie pomiędzy dynamiką neuronu biologicznego, a czasową ewolucją kondensatu polarytonów ekscytonowych. Omówione zostaną również najważniejsze wyzwania, stojące przed zastosowaniem polarytonów ekscytonowych do całkowicie optycznego przetwarzania informacji.