

Atramentowa kropka kończąca to zdanie jest około miliona razy większa od typowej kropki kwantowej. Kropki kwantowe to jeden z rodzajów nanostruktur, czyli sztucznie wytwarzanych przez człowieka układów półprzewodnikowych o rozmiarach będących miliardową częścią metra. Ze względu na swoje własności fizyczne kropki kwantowe nazywane bywają sztucznymi atomami. Dzięki postępowi technologicznemu, który dokonał się w ostatnich latach, możliwe jest obecnie wbudowywanie kropek kwantowych do wnętrza drutów kwantowych. Te są z kolei nanostrukturami przypominającymi mikroskopijne włoski o średnicy tysiąc razy mniejszej niż grubość odnóża mrówki, a od niedawna kropki kwantowe w drutach kwantowych można też umieszczać jedną obok drugiej. Zatem, jeśli pojedyncze kropki kwantowe to „sztuczne atomy”, to dwie lub więcej blisko leżących kropek kwantowych w drucie kwantowym tworzy „sztuczną molekułę” lub inaczej kwazi-molekułę, a więc sztuczny, półprzewodnikowy odpowiednik prawdziwej cząsteczki. Prace naukowe nad nanostrukturami, to jednak nie tylko demonstracja wspaniałych możliwości współczesnych technologii, to także możliwość badania podstawowych własności materii. W szczególności są to prace zmierzające do zrozumienia tego, jak oddziałują ze sobą nośniki ładunku w układach, w których ruch jest silnie ograniczony przez nanoskopowe wymiary przestrzenne. Badania te mogą mieć też duże znaczenie praktyczne, na przykład w komunikacji kwantowej, której fundamentalną cechą jest wykorzystanie kwantowej natury światła do ochrony przed podsłuchem. Rozważa się także wykorzystanie kropek kwantowych jako bitów kwantowych w komputerach przyszłości.

W prezentowanym projekcie prowadząc badania teoretyczne, odpowiemy na fundamentalne pytania dotyczące tego, czy układ dwóch lub trzech kropek kwantowych może mieć istotną przewagę nad pojedynczymi kropkami kwantowymi, właśnie ze względu na potencjalne przyszłe zastosowania w optyce, kryptografii i informatyce kwantowej.

Interesuje nas między innymi to, jakie własności mają pary elektronowo-dziurowe, a więc ekscytony związane w kwazi-molekułach. Emitują one światło o charakterystycznych cechach widmowych, a z powodów tak praktycznych, jak i fundamentalnych, ważne jest zrozumienie szczegółowej, subtelnej struktury tych widm. Czy możliwa jest praktyczna kontrola widm kwazi-molekuł za pomocą zewnętrznego pola elektrycznego i wykorzystanie kwazi-molekuł do generacji splątanych par fotonów? Czy nieporządek w aranżacji atomów budujących kwazi-molekułę sprawi, że tak zwany ciemny, nieaktywny optycznie ekscyton nie będzie już taki ciemny, i jaki ma to wpływ na możliwe wykorzystanie ciemnego ekscytonu jako kwantowego bitu? Czy układ trzech kropek kwantowych i związany w nich triekscyton jest dobrym kandydatem do generacji splątanych trójek fotonów? Na te i wiele innych niełatwych pytań postaramy się odpowiedzieć w trakcie realizacji tego projektu. To trudne zadanie będzie wymagało zastosowania złożonych metod obliczeniowych. Od strony technicznej wykorzystamy tzw. metody atomistyczne, w których nanostruktury analizuje się atom po atomie. W projekcie rozszerzymy teorię atomistyczną opisu nanostruktur, wykorzystując dodatkowo metody numeryczne stosowane do tej pory w astronomii i chemii kwantowej.

Wiele z uzyskanych przez nas wyników będzie wymagało złożonej analizy i dostępu do superkomputerów. W szczególności niezmiernie trudne może okazać się rozwiązanie tzw. problemu odwrotnego, np. odpowiedź na pytanie: jak uzyskać określone cechy widmowe zmieniając skład chemiczny czy kształt kropek w kwazi-molekułach. W celu rozwiązania powyższego zagadnienia planujemy wykorzystanie technik uczenia maszynowego, stosowanego zwykle w symulacjach sztucznej inteligencji. Rezultaty uzyskane w projekcie będą miały duże znaczenie dla badaczy projektujących nanostruktury przyszłości o określonych cechach praktycznych. Oprócz zastosowań w przemyśle mikroelektronicznym lub informatyce kwantowej, prowadzone badania będą mieć istotne znaczenie dla zrozumienia własności widmowych przestrzennie ograniczonych układów wielu cząstek.