

Kwantowo-optyczne przetwarzanie i konwersja sygnałów przy pomocy atomów

M. Parniak

*Centrum Optycznych Technologii Kwantowych,
Centrum Nowych Technologii,
Uniwersytet Warszawski,
ul. S. Banacha 2c, 02-097 Warszawa*

Zliczanie pojedynczych fotonów jest techniką mniej popularną w inżynierii optycznej niż detekcja homodynowa. Na przykład dla odróżnienia spektralnie bliskich kanałów lub linii często używa się detektora homodynowego, aby następnie przetwarzać sygnał elektroniczny. Zliczanie fotonów pozwala jednak ominąć szum śrutowy, co jest istotne dla słabych sygnałów i daje szansę na zastosowanie osiągnięć optyki kwantowej w wielu praktycznych protokołach gdzie, przede wszystkim, mamy dostęp do małej ilości światła. W naszym eksperymencie [1] użyliśmy pamięci kwantowej, aby optymalnie zmierzyć dwie bliskie linie spektralne i w całości ominąć zarówno szum śrutowy jak i ograniczenia zadane przez klasyczny spektrometr siatkowy. Pamięć kwantowa oparta jest o chłodzone laserowo atomy rubidu, w których w procesie ramanowskim można zapisać, zmodyfikować, a następnie odczytać światło – a w szczególności też pojedyncze fotony. Pamięć działała tutaj jako procesor sygnału optycznego, pozwalając na koniec na wykonanie optymalnego pomiaru (w optymalnym modzie), w którym osiągnęliśmy 20-krotne zwiększenie informacji na każdy wykryty foton. Wynik ten jest przykładem nadrozdzielczej spektroskopii, która w tym przypadku może być szczególnie istotna jako metoda nadawania czy odbioru sygnałów w domenie częstości.

Kolejnym przykładem gdzie zliczanie pojedynczych fotonów może być przydatne, ale nie było do tej pory stosowane, jest domena mikrofal. Naturalnie, zliczanie pojedynczych fotonów mikrofalowych jest wyzwaniem ze względu na ich niską energię i pozostaje trudne nawet w warunkach kriogenicznych przy użyciu zaawansowanych układów nieliniowych, takich jak złącza Josephsona. W naszym laboratorium wykorzystujemy atomy rydbergowskie [2], aby konwertować fotony mikrofalowe na fotony optyczne w bliskiej podczerwieni. Proces mieszania fal, który to umożliwił zachodził w atomach w komórce próżniowej w temperaturze pokojowej, gdzie poszerzenia dopplerowskie udało się po części skompensować wyborem geometrii. Co najistotniejsze, fotony mikrofalowe mogą być wydajnie absorbowane dzięki dużemu momentowi dipolowemu pomiędzy rydbergowskimi stanami nD i nF ($n=55$). W eksperymencie osiągnęliśmy konwersję o wydajności fotonowej około 1%, która okazała się wystarczająca do obserwacji skonwertowanego promieniowania ciała doskonale czarnego przy pomocy nadprzewodnikowego licznika fotonów optycznych. Tym samym nasz układ pozwolił wykrywać mikrofałe z temperaturą szumu poniżej 30 K, mimo konwersji w temperaturze pokojowej. Taki w pełni optyczny konwerter pozwala na rekordową

czułość w wykrywaniu mikrofal, która może znaleźć zastosowanie w systemach radarowych czy radioastronomii. Ponadto, tego typu interfejs będzie istotny dla stworzenia optycznych połączeń między komputerami kwantowymi, pracującymi w dziedzinie mikrofalowej.

Bibliografia

- [1] Mazelanik M., Leszczyński A., Parniak M., Nat. Commun. 13, 691 (2022).
- [2] Borówka S., Pylypenko U., Mazelanik M., Parniak M., Appl. Opt. 61, 8806-8812 (2022).