

# Popularnonaukowe streszczenie badań

## Zarys optyki atomowej

Dziedzina moich badań – optyka atomowa – to gałąź fizyki zajmująca się kwantową naturą gazów atomowych, ich oddziaływaniami ze sobą oraz z polami elektromagnetycznymi. W szczególności jest to także technika kontrolowania atomów i chłodzenia ich do temperatur rzędu 0,00000001 Kelvina, czyli niemalże zera bezwzględnego.

Możliwość łatwego kontrolowania i badania uczyniły z ultrazimnych gazów atomowych najlepszą dotychczas stworzoną realizację symulatora kwantowego. Stworzenie symulatora zaproponował w roku 1982 Richard Feynman – idea polega na tym by zamiast bezpośrednio badać układy bardzo trudne do zbadania, stworzyć takie, które odtwarzają ich fizykę, ale nie sprawiają takich problemów w laboratorium. Obecnie używając ultrazimnych gazów atomowych jesteśmy w stanie symulować np. ciała stałe czy też zachowanie plazmy spadającej na czarną dziurę.

Jedną z podstawowych struktur używanych w symulatorach kwantowych jest sieć optyczna – sztuczny kryształ. Używając dwóch przeciwbieżnych wiązek laserowych można stworzyć falę stojącą światła – regularny układ minimów i maksimów natężenia światła udających regularny układ sieci krystalicznej. Chmura ultrazimnych atomów wpuszczonych do takiej sieci oddziałuje z nią i odgrywa rolę elektronów. Możemy łatwo zmieniać wiele parametrów takiego układu, np. wystarczy zwiększyć natężenie światła, by „pogłębić”, sieć co jest niemożliwe w przypadku prawdziwego kryształu.

## Cel projektu

Celem badań jest opracowanie nowych technik kontroli ultrazimnych gazów atomowych przy użyciu szybkich okresowych modulacji, w szczególności opracowanie modelu możliwego do realizacji w eksperymencie, który mógłby posłużyć za filtr energii cząstek czyli system, który przepuszcza jedynie atomy o wybranych energiach, a pozostałe zatrzymuje.

By skonstruować filtr można wykorzystać lokalizację Andersona, zjawisko polegające na lokalizacji cząstek w układach z nieporządkiem. Fala prawdopodobieństwa cząstki rozprasza się na losowo rozłożonych przeszkodach tak, że rozproszone fale interferują prawie wszędzie destruktywnie. Jedynie w małym obszarze interferencja jest konstruktywna – tam lokalizuje się cząstka.

W moich badaniach koncentruję się na wytworzeniu lokalizacji przy użyciu dwóch rodzajów ultrazimnych gazów atomowych. Cząsteczki jednego z nich są unieruchomione w losowym ułożeniu i stanowią dla atomów drugiego rodzaju przeszkody. Jednak w najprostszym przypadku powoduje to lokalizację wszystkich atomów, niezależnie od ich energii, a nie to jest naszym celem. By stworzyć filtr można wykorzystać dwie techniki. Po pierwsze, rozmieszczając atomy pierwszego rodzaju można stworzyć między nimi pewne korelacje – np. mogą występować zawsze parami. Po drugie, można wprowadzić szybkie periodyczne modulacje układu w czasie. Jest to technika, którą wykorzystuje się z powodzeniem by wygenerować nowe, często niespodziewane efekty w układach zimnych atomów. Stosując ją można na przykład sprawić, że atom będzie widział sieć jako nieskończenie głęboką albo że zacznie się zachowywać jakby miał ładunek i znajdował się w polu magnetycznym. Efekty te pojawiają się, ponieważ cząstka stara się podążać za szybkimi periodycznymi zmianami jakiegoś parametru układu, jednak nie udaje się jej to całkowicie – jej długoterminowe zachowanie zmienia się.

Wstępne obliczenia pokazują, że wprowadzenie korelacji powoduje, że układ przepuszcza cząstki o pewnych energiach. Podobnie działają niektóre procedury periodycznej modulacji, modulacje pozwalają także lepiej kontrolować, które energie są filtrowane. By potwierdzić te przewidywania i zbadać własności filtrów wykonuję obliczenia numeryczne, gdyż badanie układów tego typu jest zazwyczaj niemożliwe analitycznie.

## Motywacja podjęcia badań

Zbadanie nowych procedur modulacji i ustalenie, jakie efekty są przez nie wywoływane, rozszerzy możliwości stosowania ultrazimnych gazów atomowych w sieciach optycznych jako symulatorów kwantowych. Sam filtr może być układem bardzo przydatnym w eksperymentach z zimnymi gazami atomowymi. Przykładowo może być użyty jako źródło atomów o bardzo dobrze określonej energii do interferometrii atomowej – pozwalającej na wykonywanie bardzo dokładnych pomiarów np. pola grawitacyjnego. Może też pozwolić precyzyjnie mierzyć rozkład energii atomów pochodzących z innego eksperymentu.