

Laureat Nagrody Nobla, Arthur Schawlow, mówił swoim studentom na Uniwersytecie w Stanfordzie: „Nigdy nie mierzcie niczego innego, tylko częstotliwość!”. I rzeczywiście, w historii ludzkości pomiary częstotliwości były zawsze tymi najdokładniejszymi. Jednym z powodów jest to, że cyfrowe, dyskretne i skończone zliczenie zjawisk okresowych w danej jednostce czasu wolne jest od większości źródeł niepewności występujących w innych pomiarach.

Optyczne zegary atomowe i obecnie są najdokładniejszym instrumentem pomiarowym, jakim dysponuje ludzkość. Ich dokładność i stabilność dochodzą obecnie do osiemnastu liczb znaczących. Dlatego też są jednym z tych eksperymentów, które badają nasze obecne granice poznania. Za ich pomocą bada się potencjalną zmienność podstawowych stałych fizycznych, sprawdza założenia Modelu Standardowego, a nawet, jak pokazaliśmy ostatnio, można nimi poszukiwać ciemnej materii. Równocześnie koszt ich wykonania i utrzymania jest wielokrotnie mniejszy i wymaga mniejszych zespołów naukowych niż w przypadku innych, wielkich eksperymentów poszerzających naszą wiedzę o budowie i historii otaczającego nas Wszechświata.

W ramach proponowanego projektu zamierzamy wykorzystać dokładność Polskiego Optycznego Zegara Atomowego, najdokładniejszego obecnie w Polsce urządzenia badawczego, do badań podstawowych oddziaływań pomiędzy atomami a falami elektromagnetycznymi, takich jak polaryzowalność i fotojonizacja. Zamierzamy zmierzyć tzw. magiczne i zero-magiczne długości fali, które są potrzebne do budowy następnej generacji optycznych zegarów atomowych na sieci optycznej.

Najważniejszym składnikiem optycznego standardu częstości jest próbka zimnych neutralnych atomów lub pojedynczy jon uwięziony w zachowującej koherencję pułapce elektromagnetycznej. W przypadku neutralnych atomów chmura atomowa utrzymywana jest w potencjale periodycznej sieci optycznej, który opiera się na zmieniającym się w przestrzeni przesunięciu Starka, zależącym z kolei od stanu atomu. Tak zwane „przejście zegarowe” jest wybranym dla danego pierwiastka wąskim przejściem optycznym tak, aby jego częstotliwość była możliwie mało zależna od wpływu zewnętrznych pól. Niemniej jednak, aby utrzymać atomy w potencjale sieci, wymagane jest duże natężenie światła, które zaburza częstotliwość przejścia zegarowego na skutek dynamicznego efektu Starka. Wpływ dynamicznego efektu Starka w dużej mierze może być ograniczony przez użycie tak zwanej „magicznej” długości fali, przy której polaryzowalności stanu podstawowego i wzbudzonego przejścia zegarowego są sobie równe, a więc dynamiczny efekt Starka przynajmniej w pierwszym przybliżeniu nie zaburza częstotliwości przejścia zegarowego. Niestety, praktycznie wszystkie obecne realizacje optycznych zegarów atomowych z siecią optyczną oparte są na świetle odstrojonym ku czerwonemu od mocnych przejść atomowych, a więc atomy utrzymywane są w maksimach natężenia światła. Z tego powodu, aby uzyskać wysoką dokładność zegara, wymagane jest też wzięcie pod uwagę przesunięć światłem zależnych od polaryzacji i wyższych, niż skalarnie, rzędów przesunięcia światłem.

Wady tej pozbawione będą optyczne zegary atomowe z siecią optyczną utworzoną ze światła odstrojonego ku niebieskiemu, gdzie atomy będą utrzymywane w minimum natężenia pola. Zegary nowej generacji będą łączyć zalety zegarów jonowych, gdzie wpływ zewnętrznych zaburzeń jest minimalny i dotychczasowych zegarów atomowych z siecią optyczną, które z kolei pozwalają na jednoczesny pomiar dużej liczby atomów. Pierwszym zadaniem eksperymentalnym będzie pomiar niebieskiej magicznej długości fali dla izotopu strontu ^{88}Sr w okolicy 389.9 nm. Drugim zadaniem eksperymentalnym będzie pomiar przekrojów czynnych na fotojonizację fotonami zmierzonej w poprzednim zadaniu niebieskiej magicznej długości fali stanów używanych w rzeczywistym eksperymencie zegarowym. Dzięki temu między innymi będzie można stworzyć efektywne algorytmy pracy następnej generacji zegarów.

Ostatnie badania teoretyczne pokazały, że w pobliżu niebieskiej magicznej długości fali w stronczie znajduje się szereg tak zwanych zero-magicznych długości fali dla stanu wzbudzonego przejścia zegarowego, przy których zależna od długości fali polaryzowalność jest równa zero. Oznacza to, że taki stan w ogóle nie czuje wpływu światła pułapki optycznej. Właściwość ta może być użyta do selektywnej, zależnej od stanu, manipulacji atomami w celu implementacji kwantowych operacji logicznych. Zero-magiczne długości fali były między innymi użyte do badania transferu entropii pomiędzy ultrazimnymi gazami kwantowymi i do dyfrakcji fal materii na ultrazimnym kryształ atomowym. A przede wszystkim, znajomość ich wartości może być użyta jako test obecnych prac teoretycznych. Znajomość ich jest potrzebna do wyznaczenia takich parametrów fizycznych, jak statyczne polaryzowalności stanów, czasy życia stanów, sił oscylatora przejść, potencjałów van der Waalsa, czy wreszcie magicznych długości fali. Dokładna znajomość sił oscylatora przejść atomowych jest potrzebna w wielu dziedzinach badawczych jak na przykład w badaniach podstawowych symetrii, zdegenerowanych gazów kwantowych, informacji kwantowej, fizyce plazmy, czy astrofizyce. Trzecim, ostatnim zadaniem eksperymentalnym będzie spektroskopia zero-magicznych długości fali wzbudzonego stanu przejścia zegarowego w atomach strontu.