

STRESZCZENIE POPULARNONAUKOWE

W przyszłym roku Międzynarodowy Układ Jednostek (SI), będący podstawą dokładnych, odtwarzalnych pomiarów w nauce i technologii, ulegnie fundamentalnej zmianie. Nie będzie już opierać się na artefaktach, takich jak platynowo-irydowy cylinder przechowywany w Saint-Cloud we Francji i służący jako prototyp kilograma. Do zdefiniowania podstawowych jednostek wykorzystane zostaną dobrze określone właściwości atomowe i podstawowe prawa fizyki. W szczególności, energia jednego joule'a i temperatura jednego kelvina zostaną zdefiniowane jako ściśle określone wielokrotności energii pojedynczego fotonu, emitowanego podczas nadsubtelnego przejścia w atomie cezu, tego samego przejścia, które jest wykorzystywane od 1967 roku do zdefiniowania sekundy i metra. Te nowe definicje umożliwią bardziej dokładne pomiary temperatury i ciśnienia, które są niezbędne w wielu dziedzinach ludzkiej aktywności, od wytwarzania półprzewodnikowych układów scalonych do lotnictwa i nawigacji morskiej.

Celem proponowanego projektu badawczego jest opracowanie teorii i programów komputerowych, umożliwiających dokładne obliczanie właściwości atomowych, które są niezbędne do wytworzenia lepszych, atomowych wzorców ciśnienia i temperatury. Te właściwości to elektryczne i magnetyczne właściwości atomów gazów szlachetnych oraz parametry charakteryzujące oddziaływania tych atomów w próżni i w polach laserowych. Mechanika kwantowa w sformułowaniu Schrödingera przewiduje właściwości atomowe całkiem dokładnie, ale jej dokładność nie jest wystarczająca dla celów nowoczesnej metrologii, ponieważ teoria ta nie spełnia zasad teorii względności Einsteina. Na szczęście, fizycy odkryli jak pogodzić postulaty kwantowe z teorią względności Einsteina i wynikająca stąd teoria - elektrodynamika kwantowa - jest obecnie najdokładniejszą teorią w nauce. Dla jedno- i dwuelektronowych atomów jej przewidywania zgadzają się z eksperymentem z dokładnością do jednej części na miliard. Teoria ta zostanie zastosowana do wyznaczenia elektrycznych właściwości atomów gazów szlachetnych z dokładnością, wystarczającą do celów metrologii temperatury i ciśnienia. Proponowane badania wymagają kwantowego i relatywistycznego modelowania układów, zawierających nawet więcej niż trzydzieści elektronów, co jest dużym wyzwaniem już na poziomie standardowej nierelatywistycznej teorii Schrödingera.

Ostatecznym wynikiem projektu będą algorytmy i ogólne programy komputerowe do dokładnego przewidywania właściwości atomowych, a także zastosowanie tych programów do dokładnego wyznaczenia kilku specjalnych parametrów istotnych dla wprowadzenia nowych wzorców metrologii. Jednym z takich wzorców jest optyczny wzorzec ciśnienia opracowywany w National Institute of Standards and Technology w Maryland, USA. Parametry potrzebne do skonstruowania tego wzorca opisują reakcję (odpowiedź) poszczególnych atomów (i par atomów) na zewnętrzne pola elektryczne i magnetyczne. Niewielki, mogący zmieścić się na biurku, przyrząd optyczny, zaprojektowany przez naukowców z NIST do wyznaczenia ciśnienia z ultraprecyzyjnych pomiarów współczynnika załamania światła dla gazów szlachetnych, zastąpi obecne urządzenie - trzymetrową kolumnę zawierającą ćwierć tony neurotoksycznej, bardzo szkodliwej dla środowiska rtęci. Można się spodziewać, że nowy, wolny od rtęci optyczny wzorzec ciśnienia, wynikający z połączenia postępów w interferometrii laserowej i fundamentalnych obliczeniach kwantowych, przyniesie korzyści w wielu dziedzinach nauki i, po dalszej miniaturyzacji, może stać się urządzeniem komercyjnym, używanym w przemyśle, na uczelniach i w życiu codziennym.