

Warszawa, 25 lutego 2015

Ruszył jeden z najprecyzyjniejszych optycznych zegarów atomowych

W pomieszczeniach Krajowego Laboratorium FAMO w Toruniu „słysząc” już tykanie optycznego zegara atomowego, zbudowanego dzięki współpracy uczonych z uniwersytetów Warszawskiego, Jagiellońskiego i Mikołaja Kopernika. Nowy zegar, pierwszy tego typu w Polsce i jeden z nielicznych na świecie, pozwoli wyznaczać upływ czasu z wyjątkową precyzją.

Fizycy z Warszawy, Torunia i Krakowa skonstruowali optyczny zegar atomowy, jeden z nielicznych tego typu przyrządów na świecie i już teraz, na wczesnym etapie rozruchu, prawdopodobnie najbardziej precyzyjny zegar w Polsce. Urządzenie, zajmujące cztery pokoje w Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej (KL FAMO) w Toruniu, zostało zbudowane i uruchomione przez konsorcjum naukowe Polski Optyczny Zegar Atomowy (POZA), w którego skład wchodzi Uniwersytet Warszawski (koordynator projektu), Uniwersytet Mikołaja Kopernika oraz Uniwersytet Jagielloński.

Teoretyczna stabilność nowego zegara, wynikająca z wykorzystywanych mechanizmów fizycznych, dopuszcza błąd o sekundę na kilkadziesiąt miliardów lat, co jest okresem kilkukrotnie dłuższym od tego, jaki upłynął od Wielkiego Wybuchu.

„Tak duża stabilność jest jeszcze przed nami. Jak każdy tak wyrafinowany przyrząd pomiarowy, i nasz zegar wymaga stopniowej, uważnej kalibracji i ciągłego wprowadzania pewnych udoskonaleń. Jednak już teraz, na samym początku pracy, osiągnęliśmy większą stabilność niż wymagana dla tego typu zegarów przez paryskie Międzynarodowe Biuro Miar i Wag: mylimy się mniej niż sekundę na kilkadziesiąt milionów lat”, mówi dr hab. Roman Ciuryło, dyrektor KL FAMO.

Optyczne zegary atomowe składają się ze wzorca atomowego, grzebienia optycznego oraz ultraprecyzyjnego lasera. Częstotliwość światła generowanego przez laser jest dokładnie dostrajana do różnicy energetycznej między ściśle określonymi poziomami w atomach znajdujących się we wnętrzu wzorca atomowego. Pomiar czasu odbywa się poprzez zliczanie oscylacji pola elektromagnetycznego w już dostrojonym i ustabilizowanym świetle laserowym. Częstotliwość fali świetlnej lasera jest jednak tak duża, że zliczanie pojedynczych „tyknięć” wykracza poza możliwości współczesnej elektroniki. Rolę przekładni zębatej, przeliczającej częstotliwości optyczne na mniejsze, radiowe, pełni grzebień optyczny – laser wytwarzający wiele bardzo krótkich impulsów, trwających zaledwie femtosekundy (milionowe części miliardowych części sekundy). Impulsy te służą jako optyczny odpowiednik linijki, której „podziałkę” można zsynchronizować (zdudnić) z częstotliwością światła dostrojonego do wzorca atomowego.

„Naprawdę precyzyjne pomiary czasu wymagają ciągłego porównywania wyników z wieloma innymi zegarami. Dlatego zbudowaliśmy od razu dwa całkowicie niezależne od siebie wzorce

atomowe. Odczyty z obu pozwalają nam znacznie dokładniej korygować 'tyknięcia' zegara jako całości", mówi dr hab. Michał Zawada (KL FAMO, UMK).

Oba wzorce atomowe w KL FAMO mogą pracować na atomach strontu 88, lecz by uniknąć powielania błędów pomiarowych, w jednym może być zamiennie użyty stront 87. W każdym wzorcu atomy strontu są izolowane od otoczenia i od siebie: schłodzone do temperatury poniżej 10 mikrokelwinów, tkwią we wnętrzu komory z ultrawysoką próżnią, unieruchomione w odpowiednio skonstruowanej pułapce optycznej, wytworzonej przez wiązkę pomocniczego lasera.

W celu odczytania upływu czasu atomy strontu są oświetlane czerwonym światłem głównego, ultrastabilnego lasera o częstotliwości ok. 429 teraherców. Po dokładnym dostrojeniu energii światła laserowego do przejścia w atomach, częstotliwość wiązki jest za pomocą grzebienia optycznego przetwarzana na częstotliwości radiowe, wynoszące ok. 250 megaherców. Na tym etapie poszczególne „tyknięcia” są już zliczane przez odpowiednią aparaturę elektroniczną.

„Czym innym jest stabilność zegara, a czym innym jego dokładność. Aby ustalić tę drugą, czyli żeby móc porównywać nasze odczyty z dotychczasowymi polskimi wzorcami czasu, nawiązaliśmy współpracę z Głównym Urzędem Miar w Warszawie oraz z Obserwatorium Astrogeodynamicznym w Borowcu”, podkreśla prof. dr hab. Czesław Radzewicz z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW).

Sygnały czasu między laboratoriami w Toruniu, Warszawie i Borowcu są przesyłane światłowodami udostępnionymi przez akademicką sieć PIONIER i firmę Orange w ramach projektu OPTIME Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Sieć składa się z telekomunikacyjnych światłowodów oraz dedykowanych urządzeń transmisyjnych i wzmacniających opracowanych przez inżynierów Katedry Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

„Już samo włączenie toruńskiego zegara w pulę dotychczasowych zegarów wyznaczających standard czasu zwiększy precyzję tego standardu. W praktyce oznacza to, że nasz zegar będzie miał wkład również w przyszłą definicję sekundy”, podkreśla dr Zawada.

Ponieważ zegar w KL FAMO funkcjonuje od niedawna, fizycy zaangażowani w projekt nie zakończyli jeszcze pomiarów pozwalających precyzyjnie wyznaczyć wszystkie cechy przyrządu. Zebrane dotychczas dane sugerują jednak, że już na obecnym etapie eksploatacji w Toruniu działa najstabilniejszy i najdokładniejszy zegar w Polsce.

„Podstawą sukcesu był doskonały podział pracy i harmonijna współpraca grup doświadczalnych ze wszystkich trzech uniwersytetów. Projekt był przecież także poważnym wyzwaniem logistycznym. Jeden ze wzorców atomowych zbudowano w Krakowie, skąd po wstępnym uruchomieniu i próbach trafił do Torunia. Aparatura, niezwykle wrażliwa, zniosła tę podróż bez uszczerbku”, mówi prof. dr hab. Wojciech Gawlik (UJ) i zauważa: „Dzięki naszej współpracy mamy teraz w KL FAMO unikalne urządzenie, na którym oprócz niezwykle precyzyjnych pomiarów czasu można przeprowadzać bardzo wyrafinowane eksperymenty z fizyki atomowej, molekularnej czy optyki kwantowej”.

Precyzyjne pomiary czasu odgrywają istotną rolę w wielu dziedzinach nauki i techniki. Najbardziej wyrafinowane zegary pomagają fizykom testować tak fundamentalne cechy rzeczywistości, jak zmienność w czasie stałych fizycznych, służą do niezwykle dokładnego weryfikowania przewidywań ogólnej teorii względności, a także do poszukiwań ciemnej materii w kosmosie. Zegary atomowe poprzedniej generacji, o znacząco mniejszej precyzji, są obecnie stosowane m.in. w systemach nawigacji satelitarnej, w bezprzewodowych sieciach o dużej przepustowości (wi-fi), przy zabezpieczaniu transmisji bankowych, a także w pomiarach pola grawitacyjnego Ziemi, ujawniających jej wewnętrzną strukturę geologiczną.

Budowa optycznego zegara atomowego w Toruniu została sfinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

KONTAKTY:

prof. dr hab. **Czesław Radzewicz**
Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532737, +48 22 5532467
email: czeslaw.radzewicz@fuw.edu.pl

dr hab. **Roman Ciuryło**, prof. UMK
dyrektor Krajowego Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej
Instytut Fizyki Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika
tel. +48 56 6113335
email: rciurylo@fizyka.umk.pl

prof. dr hab. **Wojciech Gawlik**
Instytut Fizyki Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego
tel. +48 12 6644700
email: gawlik@uj.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://famo.fizyka.umk.pl/>
Strona Krajowego Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej.

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW150225b_fot01s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150225b_fot01.jpg
Wzorzec atomowy, jeden z głównych elementów optycznego zegara atomowego, działający w Krajowym Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej (KL FAMO) w Toruniu. (Źródło: UMK, Anna Bielawiec-Osińska)