

## Bardzo cenny grzebień

Dziś o drugiej połowie Nagrody Nobla z fizyki za rok 2005 przyznanej Johnowi L. Hallowi i Theodorowi W. Hänschowi za precyzyjną spektroskopię laserową i technikę grzebieńa częstotliwości.

Znaczącą część fizyki stanowią precyzyjne pomiary. Im dokładniej coś potrafimy zmierzyć, tym dokładniej możemy konfrontować teorię z doświadczeniem. Każde dobrze potwierdzone odstępstwo sygnalizuje, że czegoś nie rozumiemy i stanowi impuls do głębszego zrozumienia natury.

Precyzyjny pomiar nie jest możliwy bez odpowiednio precyzyjnej miarki. Wytworzenie takiej precyzyjnej i – najlepiej – wygodnej w użyciu miarki natychmiast znajduje praktyczne zastosowanie.

Trudno sobie wyobrazić bardziej podstawowe wielkości niż czas i odległość. Podstawowymi jednostkami są odpowiednio sekunda i metr, ale jak długie są te jednostki? Po chwili zastanowienia rozumiemy, że na tak postawione pytanie nie można udzielić odpowiedzi. Jedyne, co można zrobić, to opracować metodę, która sprawi, że sekunda będzie sekundą, a metr metrem. Innymi słowy, potrzebne są fizyczne wzorce, które umożliwią odmierzenie z jak największą dokładnością.

Czas i przestrzeń wiążą się poprzez fundamentalną stałą przyrody – prędkość światła. Coraz bardziej precyzyjne pomiary tej stałej prowadzone, między innymi, przez J. Halla doprowadziły do sytuacji, w której ograniczeniem dalszego postępu stał się wzorzec metra (którym od 1960 roku była określona liczba długości fali pewnej linii spektralnej kryptonu). W związku z tym, w roku 1983, ustalono prędkość światła na dokładnie 299 792 458 m/s, a tym samym wzorzec metra na dystans pokonywany przez światło w 1/299 792 458 s.

W ten sposób wzorzec sekundy, którym od 1967 roku jest 9 192 631 770 okresów fali świetlnej nadsubtelnego przejścia Cezu 133, jest podstawą wzorca metra. Żeby go zrealizować za pomocą światła widzialnego, trzeba umieć określić jego długość fali, czyli, de facto, zmierzyć jej częstotliwość, która jest rzędu  $10^{15}$  Hz. Natomiast częstotliwość wzorca sekundy jest

w zakresie radiowym 5 rzędów wielkości mniejsza (mała częstotliwość, a więc mały pęd emitowanego fotonu, minimalizuje dopplerowskie rozmycie linii widmowej). Porównywanie wymagało użycia żmudnego, wielokrotnego poddawania częstotliwości. W dodatku taką metodą precyzyjnie można zmierzyć tylko ograniczony zakres częstotliwości.

Powyższy sposób nie jest już stosowany, bo zastąpił go tytułowy grzebień częstotliwości (ang. *frequency comb*). Jest to odpowiednio uformowane światło lasera impulsowego o ustalonej różnicy faz (ang. *mode locking*) między częstotliwością podstawową a częstotliwością repetycji. Dzięki ustaleniu różnicy faz widmo takiego lasera może składać się z bardzo dużej liczby częstotliwości precyzyjnie różniących się o stałą wartość odpowiadającą częstotliwości repetycji, czyli odwrotności czasu pomiędzy impulsami (zdeterminowanego podwojoną długością optyczną rezonatora).

Gdyby różnica faz była zerowa, to częstotliwości grzebieńa byłyby po prostu wielokrotnościami częstotliwości repetycji  $f_r$ . Ponieważ jest to praktycznie niemożliwe do osiągnięcia, pojawia się pewne przesunięcie  $f_0$  (ang. *carrier-envelope offset CEO frequency*) i ostatecznie częstotliwości grzebieńa wyrażają się wzorem  $f_n = f_0 + n \cdot f_r$ . Zakres zmienności  $n$  jest, oczywiście, ograniczony, ale jeżeli rozciąga się on na pełną oktawę, czyli jeżeli istnieje takie  $n$ , dla którego częstotliwość  $f_{2n}$  jest jeszcze w widmie, to możliwe jest zmierzenie częstotliwości  $f_0$  poprzez zmierzenie częstotliwości dudnienia między częstotliwościami  $f_{2n}$  i  $2f_n$ :

$$2f_n - f_{2n} = 2(f_0 + n \cdot f_r) - (f_0 + 2n \cdot f_r) = f_0.$$

To oznacza otrzymanie precyzyjnie wyskalowanej miarki – którą można już nawet kupić!

Obaj nobliści przyczynili się w decydującym stopniu do rozwoju technik, które umożliwiły realizację opisanej w telegraficznym skrócie idei optycznego grzebieńa częstotliwości. Zakres zastosowań rozciąga się od sprawdzania najbardziej podstawowych praw natury, np. za pomocą testowania identyczności materii i antymaterii, do lepszej kalibracji systemu GPS.

Alfred Nobel byłby zadowolony. Trudno o lepszy przykład pożytecznych badań podstawowych.

## Wyniki finału XXII edycji Ogólnopolskiego Sejmiku Matematyków

Konkurs polega na przedstawieniu opracowania jednego z tematów zaproponowanych (wraz z bibliografią) przez Jury lub tematu własnego oraz, w przypadku zakwalifikowania się do finału, krótkim zreferowaniu publicznie tego opracowania.

Konkursy organizuje Pracownia Matematyki Pałacu Młodzieży w Katowicach przy współudziale Uniwersytetu Śląskiego.

Jury w składzie: prof. dr hab. Maciej Sablik – przewodniczący, dr Michał Baczyński, mgr Tomasz Bielaczyc, mgr Włodzimierz Fechner, mgr Żywilla Fechner, dr Maria Górniołek, mgr Barbara Przebieracz, mgr Bonifacy Szczepanik, dr Anna Maria Szczerba-Zubek, przyznało

I miejsce **Tomaszowi Tkoczowi** z II LO w Rybniku za pracę *Twierdzenia o wartości średniej*;

II miejsce **Magdalenie Żuk** z I LO w Prudniku za pracę *Liczby, jakich nie znamy – liczby kardynalne*;

III miejsce **Annie Ściążko** z Pracowni Matematyki Pałacu Młodzieży w Katowicach za pracę *Interpolacja wielomianowa*;

IV miejsce **Rafałowi Kelmowi** z VIII LO w Katowicach za pracę *Imponujące, lecz mało znane... O liczbach zespolonych i innych rozwinięciach liczb rzeczywistych*.

**Wyniki głosowania publiczności na najlepszy referat:**

nauczyciele wybrali referat Anny Ściążko, uczniowie wybrali referat Magdaleny Żuk.