

Pulsary a metrologia czasu i częstotliwości

Albin Czubla

W dniu 25 listopada 2011 roku, w dzień św. Katarzyny Aleksandryjskiej, patronki nauki, delegacja z Głównego Urzędu Miar i Okręgowego Urzędu Miar w Gdańsku, z Prezesem Głównego Urzędu Miar na czele, wzięła udział w uroczystej inauguracji Zegara Pulsarowego GDAŃSK 2011 w kościele św. Katarzyny na Starym Mieście w Gdańsku. Uroczystości towarzyszyły wystąpienia przedstawicieli zaproszonych instytucji i lokalnych władz miejskich i samorządowych, w tym również Prezesa Głównego Urzędu Miar, prezentacje multimedialne twórców zegara pulsarowego, msza św. koncelebrowana przez abp. Tadeusza Gołowskiego, w oprawie muzyki carillonowej (carillon jest instrumentem złożonym z kilkudziesięciu dzwonów o różnych tonach) i chóralnej, wraz z polską prapremierą wykonania utworu „Lumen” Wojciecha Kilara, napisanego specjalnie z okazji 400-lecia urodzin Jana Heweliusza.

Miejsce uroczystości nie zostało wybrane przypadkowo, gdyż w krypcie tego kościoła spoczywają doczesne szczątki Jana Heweliusza, gdańskiego astronoma a jednocześnie jednego z czołowych astronomów XVII wieku, prekursora wielu obserwacji księżycowych, planetarnych i słonecznych, równoległe do Christiana Huygensa prekursora zastosowania wahadła do budowy zegara, członka Royal Society w Londynie. W wieży tego kościoła mieści się Muzeum Zegarów Wieżowych – oddział Muzeum Historycznego Miasta Gdańska, które, właśnie dla uczczenia 400. rocznicy urodzin Jana Heweliusza w 2011 roku, podjęło się budowy zegara pulsarowego, łączącego idee obserwacji astronomicznych i precyzyjnego pomiaru czasu.

Zbudowany zegar pulsarowy, któremu nadano nazwę Zegar Pulsarowy GDAŃSK 2011, został zainstalowany w kościele św. Katarzyny. Za pomocą umieszczonej na jego dachu macierzy, 16 anten śledzi obecnie sygnały dochodzące z 6. pulsarów i wykorzystuje je do synchronizacji zegara lokalnego. Wg wiedzy autorów, jest to pierwsza tego typu konstrukcja na świecie, aczkolwiek jeszcze o nie przebadanych i nie potwierdzonych właściwościach metrologicznych. Pomocą w dokonaniu tej oceny, przynajmniej w zakresie wstępnej weryfikacji jakości i dokładności sygnałów uzyskiwanych z Zegara Pulsarowego GDAŃSK 2011, ma zająć się Główny Urząd Miar i Okręgowy Urząd Miar w Gdańsku. Po wykonaniu tych pomiarów, podjęta zostanie decyzja, co do zasadności i formy przeprowadzenia dalszych pomiarów o większej precyzji, z bezpośrednim powiązaniem z wyznaczanymi w sposób ciągły krajowymi i międzynarodowymi atomowymi skalami czasu.

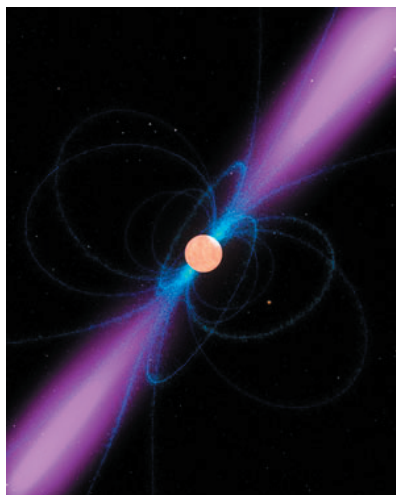
Zasada działania zegara pulsarowego polega na wykorzystaniu wysokiej stabilności ruchu wirowego pulsara, która jest szacowana teoretycznie na poziomie $1 \cdot 10^{-18}$ s/s, do regulacji lokalnego zegara umieszczonego w miejscu odbioru sygnału z pulsara. Dokładność rzędu 10^{-18} s/s oznacza możliwość pomyłki o 1 s dopiero po upływie 10^{18} sekund, czyli po upływie ok. 32 mln lat. Jednak, w celu osiągnięcia on-line takiej dokładności, niezbędny jest niemal „doskonały”, niezakłócony odbiór sygnału z pulsara, co technicznie, na tle mnogości sygnałów docierających z kosmosu i bezpośredniego otoczenia anten oraz niedoskonałości układów odbiorczych i wzmacniających sygnały, nie jest i szybko nie będzie możliwe. W praktyce, przy ograniczonej rozdzielczości odbioru sygnału z pulsarów, można wydłużyć czas obserwacji sygnałów z pulsarów i pomiary powtarzać wielokrotnie na przestrzeni kolej-

nych dni, miesięcy i lat, aż do osiągnięcia oczekiwanej dokładności. Jest to, zwykle liczony w latach, bardzo długotrwały proces. Ponadto wymaga to równie precyzyjnego uwzględnienia w obliczeniach wzajemnego ruchu Ziemi, Słońca i obserwowanych gwiazd, co z kolei zależy od zastosowanego modelu i znajomości jego parametrów. Istotną również pozostaje kwestia sposobu dokonywania synchronizacji zegara lokalnego do sygnału z pulsarów. Otwartą obecnie pozostaje sprawa uzyskania precyzji Zegara Pulsarowego GDAŃSK 2011.

Pulsar jest gwiazdą neutronową o silnie skupionej masie, przekraczającej masę Słońca, i o średnicy rzędu 10 km, wytwarzającą bardzo silne pole magnetyczne. Szybkiemu ruchowi wirowemu, towarzyszy emisja silnego promieniowania radiowego z biegunów magnetycznych pulsara. Ponieważ oś obrotu pulsara zwykle nie pokrywa się z osią łączącą jego bieguny magnetyczne, wiązka sygnału z pulsara co pełen obrót zakreśla w przestrzeni kosmicznej powierzchnię stożka. Jeżeli Ziemia znajduje się na powierzchni tego stożka, to sygnał z pulsara dociera do Ziemi w regularnych odstępach równych okresowi obrotu pulsara. Najdokładniejsze są tzw. pulsary milisekundowe o okresie obrotu nie przekraczającym 10 ms. Do obserwacji sygnałów z pulsarów stosuje się zwykle duże radioteleskopy – największy w Arecibo o średnicy 305 m, a pozostałe o średnicy kilkudziesięciu metrów. Zastosowanie macierzy anten, z możliwością elektronicznej regulacji opóźnień sygnału docierającego z poszczególnych anten cząstkowych, pozwala na jednoczesną obserwację sygnałów docierających do anten z różnych kierunków i może być alternatywą dla dużych radioteleskopów.

Pulsary już od wielu lat znajdują się w obszarze zainteresowań metrologii czasu i częstotliwości, jako niezależne źródło weryfikacji długoterminowej stabilności wyznaczanych na Ziemi międzynarodowych atomowych skal czasu oraz uzupełnienie do utrzymywanej międzynarodowej sieci atomowych wzorców czasu i częstotliwości. Pulsary wprawdzie nie są w stanie zastąpić zegarów atomowych, ze względu na brak możliwości generacji ciągłego wzorcowego sygnału częstotliwości o dużej dokładności, ale mogą stanowić alternatywę dla ziemskich atomowych skal czasu w eksploracji kosmosu i ocenie ich faktycznej stabilności, co może się przyczynić do poprawy dokładności odtwarzania definicji sekundy SI. Nie bez znaczenia są również pomysły wykorzystania sygnałów z pulsarów do oparcia na nich systemu nawigacyjnego.

Zegar Pulsarowy GDAŃSK 2011 niewątpliwie stanowi godne upamiętnienie dokonania Jana Heweliusza i uświetnienie jego 400. rocznicy urodzin. Życzymy sobie, aby był również krokiem milowym w kierunku rozwoju metrologii czasu i częstotliwości w Polsce i na świecie.



Pulsar Still NASA