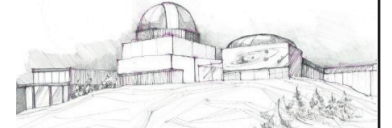




# PATRZĄC W NIEBO



Rozmaitości ASTRONOMICZNE

Wiadomości ze świata nauki i techniki

Doniesienia z CERN ESA NASA

www.facebook.com/cwintpoland

Nr (164) 3/2019

## Jak działa radiointerferometr ALMA?

### Precyzja przez duże „P”



» ALMA na tle Drogi Mlecznej. Źródło: <https://www.almaobservatory.org>

Radioteleskop, którego antena miałaby 16 kilometrów średnicy, mógłby stać się jednym z najbardziej precyzyjnych detektorów na Ziemi. Odbierane przez niego sygnały radiowe dostarczałyby danych o niespotykanej dotąd jakości. Naukowcy korzystający z takiego giganta mogliby stanąć twarzą w twarz z odległymi obiektami, które wcześniej niewyraźnie majaczyły w przestrzeni (jak fatamorgana). Niestety, obecna technologia utrudnia produkcję takiego urządzenia. Choć w przypadku radioteleskopu sytuacja nie jest jeszcze aż tak beznadziejna, to stworzenie 16-kilometrowego zwierciadła optycznego zupełnie nie wchodzi w grę. Inżynierowie wiedzą to i wiedzieli również na początku lat 90. ubiegłego wieku, gdy Europejskie Obserwatorium Południowe (ESO, ang. European South Observatory) zapragnęło takiego właśnie giganta. Choć technologia wyklucza budowę 16-kilometrowej ruchomej radioanteny, ograniczenia te można obejść, wykorzystując możliwości, jakie daje interferometria.

ESO dopięło swego i obecnie dysponuje radioteleskopem o średnicy sięgającej wspomnianych 16 kilometrów – tyle wynosi dystans pomiędzy dwiema najbardziej odległymi od siebie antenami obserwatorium ALMA (ang. Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array). 66 zintegrowanych anten działa tak, jak gdyby stanowiły jeden, ogromnej wielkości radioteleskop. Ich panoramiczne ujęcia budzą zachwyt, ale w praktyce to przedsięwzięcie stawiające ogromne wymagania i spędzające sen z powiek inżynierom. Aby interferometr spełniał swoją funkcję, konieczna jest perfekcyjna synchronizacja. Odbiorniki i elektronika przetwarzająca sygnał są zharmonizowane co do milionowych części sekundy! To trochę tak, jakby sygnał radiowy podróżujący od milionów lat w przestrzeni kosmicznej był mierzony z dokładnością podobną do średnicy ludzkiego włosa od momentu, gdy fale trafiają w 66 anten, aż do etapu, gdy są one korelowane przez główny komputer. Setne części milimetra to dokładność, na drodze do której stoją miliony drobnych przeszkód. Wydaje się, że skoro na Atakamie stoją już wszystkie anteny, to najtrudniejszy etap inżynierowie mają już za sobą. Rzeczywistość szybko sprowadza ich jednak na Ziemię – każdego dnia w zapleczu technicznym ALMA trwa mozolna walka ze wszelkimi czynnikami mogącymi zakłócić sygnał. Cały proces wymaga nieustannej kontroli tak, by fala radiowa, która zmieniana jest w cyfrowe dane, nie uległa „uszkodzeniu”. Walka o precyzję toczy się głównie na poziomie technologicznym: od sprawności każdej anteny, przez ich identyczną orientację względem obiektu, aż po odpowiednio zsynchronizowane czasy wszystkich podsystemów. To tylko brzmi skomplikowanie – w rzeczywistości to niemal karkołomne. Problemy zaczynają się jeszcze zanim fala elektromagnetyczna uderzy w antenę. Dwutlenek węgla, tlen i para wodna, której – o zgrozo! – na Atakamie nie ma prawie wcale, częściowo pochłaniają promieniowanie lub zmieniają jego kierunek. Z tego powodu na etapie digitalizacji sygnałów brane są pod uwagę dane o warunkach atmosferycznych panujących w linii widzenia każdej radioanteny. Czy to nie szalone? Indywidualna prognoza pogody dla 66 ustawionych obok siebie czas!

Sekret jakości pomiarów uzyskiwanych przy użyciu ALMA tkwi w technice interferometrii. Metoda ta zakłada, że dzięki obserwacji jednego źródła promieniowania przy użyciu dwóch zsynchronizowanych detektorów można uzyskać wzmocniony i pełniejszy sygnał. Mówiąc prostym językiem, obserwując jeden obiekt z lewej i z prawej, można zobaczyć to, co znajduje

się pośrodku. A pośrodku znajduje się prawda. Trochę jak interferometr działa nasz zmysł wzroku. Wyciągnij przed siebie palec, a potem obserwuj go tylko jednym okiem – raz jednym, raz drugim. Zauważysz pewnie, że położenie palca względem tła ulega drobnym zmianom. Palec obserwowany dwójnym oczu znajduje się gdzieś pośrodku. ALMA zamiast oczu ma uszy – anteny, które jednocześnie nasłuchują sygnału radiowego pochodzącego z tego samego punktu na niebie.

Technologia przerabiająca ten sygnał na cyfrowe dane korelowane później w jedną całość, działa trochę jak mózg, który łączy światło odbierane przez lewe i prawe oko w jeden obraz. Interferometr umożliwia nakładanie na siebie kilkudziesięciu spójnych fal, dzięki czemu powstają obszary wygaszania i wzmacniania drgań. Uzyskiwane w takim procesie wzory interferencyjne są po odpowiednich analizach przedstawiane w formie wiarygodnych pomiarów. W ten sposób można dokładnie zmierzyć odległość do badanego obiektu, ale także uzyskać informacje o jego przestrzennych wymiarach. Wzmocniony sygnał niesie precyzyjną wiadomość – pojedyncze fale to zaledwie pogłoski.

#### Uszy pustyni Atakama.

Lokalizacja anten ALMA nie jest przypadkowa. Chilijska pustynia to idealny dom dla wielu europejskich obserwatoriów. Możliwość, jakie daje ten surowy klimat i niezamieszkała przez człowieka przestrzeń można ująć w zaledwie dwóch słowach: sucho i ciemno. Para wodna to jeden z największych wrogów pomiarów astronomicznych, ponieważ świetnie pochłania i rozprasza wszelkiego rodzaju fale elektromagnetyczne, a krótkie sygnały radiowe nie są tu niestety wyjątkiem. Ale nad czasami chilijskiego interferometru znajduje się zaledwie od 1 do 2 milimetrów słupa wody. Zakłócenia powodowane przez tak minimalny stopień wilgotności można kontrolować, wnosząc do obliczeń poprawki. Pięćdziesiąt cztery anteny obserwatorium to czasy o średnicy 12 metrów, pozostałe mierzą w najszerzym miejscu 7 metrów. Obliczając średnicę pojedynczego teleskopu, jakiemu odpowiada ten interferometr pod uwagę bierze się odległość pomiędzy dwoma najbardziej odległymi względem siebie detektorami. W przypadku ALMA wynosi ona 16 kilometrów. To powierzchnia, jaką uszy chilijskiej pustyni nasłuchują szepcót Wszechświata – fal milimetrowych i submilimetrowych. Powierzchnie czas są wypolerowane z dokładnością ułamków milimetra. Niedoskonałości nie mogą być większe niż długość zbieranych fal, inaczej powodowane przez nie zakłócenia zniweczą całe przedsięwzięcie. Perfekcyjnie wyprofilowane anteny o parabolicznym kształcie są na tyle wytrzymałe, że możliwy jest ich transport. Przenoszenie anten umożliwia zmianę konfiguracji ich wzajemnego ustawienia, a to wpływa na uzyskiwaną rozdzielczość kątową. Transport stanowi jednak ogromne wyzwanie, bo każda antena waży sto ton i zawiera bardzo drogie urządzenia wymagające stałego zasilania. Aby takie procedury były możliwe, obserwatorium ALMA korzysta ze specjalnie zaprojektowanych do tego celu 28-kołowych ciężarówek. Każdy z dwóch długich na 20 metrów pojazdów wyposażony jest w dwa wysokoprężne silniki o mocy 700 koni mechanicznych! Mimo tych osiągnięć, podróż giganta przewożącego antenę odbywa się w ślimaczym tempie wynoszącym maksymalnie 12 kilometrów na godzinę. W tym czasie radioteleskopy stabilizowane są z dokładnością co do milimetrów i zasilane przez wbudowane w ciężarówki akumulatory.

#### Technologia w akcji

Gdy do chilijskich anten docierają fale radiowe emitowane przez obiekty astronomiczne, rozpoczyna się ich podróż przez technologiczne systemy obserwatorium ALMA. Pierwszy z systemów, jaki napotkają goście z odległej przestrzeni to ALMA Front End. Odbiornik wiszący nad anteną zbiera sygnał z parabolicznej czaszy i przekazuje w kierunku Front End fale radiowe. System może wychwytywać je w dziesięciu różnych pasmach częstotliwości. Na tym etapie ważną funkcję pełnią kriostaty, utrzymujące urządzenie w temperaturze bliskiej zera bezwzględnej (dokładnie  $-269$  stopni Celsjusza). Takie warunki gwarantują, że milimetrowe i submilimetrowe fale nie zostaną „zamazane” przez fale, które emitowałyby sam instrument ze względu na swoją własną temperaturę. Błędy w sygnale wywołane obecnością pary wodnej w polu widzenia anteny kompensowane są dzięki specjalnym radiometrom. Następnie Front End przesyła odebrane fale do systemu ALMA Back-End, który konwertuje sygnał analogowy do sygnału cyfrowego i przekazuje go dalej – do korelatora zainstalowanego w budynku technicznym Array Operations Site (AOS). Do transmisji danych obserwatorium wykorzystuje światłowody. Szacuje się, że do celów obserwacyjnych użyto ponad tysiąc kilometrów tego typu przewodów.

Cyfrowy sygnał z anten podróżuje światłowodami w kierunku budynku technicznego AOS. To tam znajduje się korelator, czyli system integrujący dane ze wszystkich detektorów. I to tam dzieje się prawdziwa magia! Superkomputer wykonuje nawet miliardy matematycznych porównań dla odbieranych sygnałów w ciągu zaledwie jednej sekundy. Do takich procesów konieczna jest ogromna moc obliczeniowa, którą zapewniają 134 miliony procesorów! System nieustannie łączy i porównuje dane odbierane przez zwykle 50 anten jednocześnie, umożliwiając zsynchronizowaną współpracę stutonowych anten. Ta maszyna kosztowała ESO ponad 11 milionów dolarów. ALMA rozpoczęło swoją działalność półtora roku przed oficjalnym ukończeniem jego budowy (2003 r.). Wykorzystywano wówczas 25 procent jego docelowych możliwości, dokonując pierwszych obserwacji. Od tamtego czasu ukazało się ponad pół tysiąca publikacji omawiających wyniki uzyskane przy wykorzystaniu chilijskich anten.

Dominiika Jasińska  
Miesięcznik ASTRONOMIA, <http://astronomia.media.pl/>

ASTRONOMIA to miesięcznik popularyzujący wiedzę o KOSMOSIE. Czytaj i pogłębiaj swoją wiedzę. Naprawdę warto – dziesiątki ciekawych artykułów, wspaniałe zdjęcia i mapy nieba!

## 21 stycznia 2019 – całkowite zaćmienie Księżyca!!!

Obserwatorium Astronomiczne CWINT ZAPRASZA – kontakt [pd@cwint.pl](mailto:pd@cwint.pl), tel. 601-97-70-54

CWINT - OTWIERAMY DLA CIEBIE SZEROKO DRZWI DO ŚWIATA WIEDZY I NAUKI

