

RADIOASTRONOMIA to dziedzina badań Kosmosu, która dała nam wiedzę o najciekawszych i najdziwniejszych obiektach i zjawiskach Wszechświata, np. kwazarach, pulsarach i kosmicznych maserach (promieniowanie pochodzenia naturalnego podobne do laserowego, lecz obserwowane na falach radiowych). To radioastronomii zawdzięczamy odkrycie pierwszych planet pozasłonecznych. Dziś wkracza ona w zupełnie nowy obszar instrumentalny – wielkie czasze teleskopów zostają zastąpione ogromną liczbą małych, sprzężonych ze sobą anten. Kluczową rolę odgrywają tu cyfrowe technologie informatyczne i internet.

POCZĄTKI RADIOASTRONOMII

W czasie gdy Albert Einstein (1879–1955) był już uznanym fizykiem jako twórca ogólnej teorii względności, a na szczycie Mount Willson za pomocą stalowego teleskopu optycznego Edwin Hubble (1889–1953) dokonywał pomiarów odległości do galaktyk i odkrywał ich ucieczkę, trwały prace nad doskonaleniem technik przekazu informacji na falach radiowych. I właśnie podczas takich prac badawczych prowadzonych dla Bell Telephone Laboratories Karl Jansky (1905–1950) odkrył promieniowanie radiowe Drogi Mlecznej. Zdarzenie to miało miejsce latem 1931 r. i uznawane jest za początek radioastronomii.

Przed II wojną światową z antenami kierunkowymi o klasycznym kształcie paraboloidu eksperymentował inż. Grote Reber (1911–2002), ale rozkwit radioastronomii nastąpił dopiero pod koniec lat 40. i później. Budowano coraz lepsze odbiorniki, które instalowano na coraz większych instrumentach. Pozwalało to na obserwacje coraz słabszych źródeł promieniowania radiowego. Jednak czułość (która jest zależna od powierzchni głównego zwierciadła radioteleskopu) to nie wszystko. Ważną jest też rozdzielczość instrumentu, którą determinuje jego średnica. Niestety, przy tej samej średnicy teleskopu dla fal dłuższych zdolność rozdzielcza drastycznie spada. Dlatego nawet największe radioteleskopy mają ten parametr gorszy od małych amatorskich teleskopów optycznych.

Na szczęście radioastronomowie poradzieli sobie z problemem mikrej zdolności rozdzielczej instrumentów. Sir Martin Ryle (1918–1984) jako pierwszy przeprowadził obserwacje dwiema antenami jednocześnie, a skomplikowane operacje związane ze wspólną analizą odebranego sygnału (zwane syntezą apertury) pozwoliły mu na uzyskanie wyniku takiego, jakby użył teleskopu o średnicy równej odległości między antenami. Tak narodziła się technika zwana interferometrią radiową, dziś stosowana powszechnie jako





Centralny obszar sieci LOFAR w Holandii

Składa się z ponad 100 tys. anten rozlokowanych w różnych miejscach Europy. Trzy stacje tego systemu są już w Polsce. Dzięki niemu odkryjemy nowe zjawiska zachodzące we Wszechświecie.

LESZEK BŁASZKIEWICZ

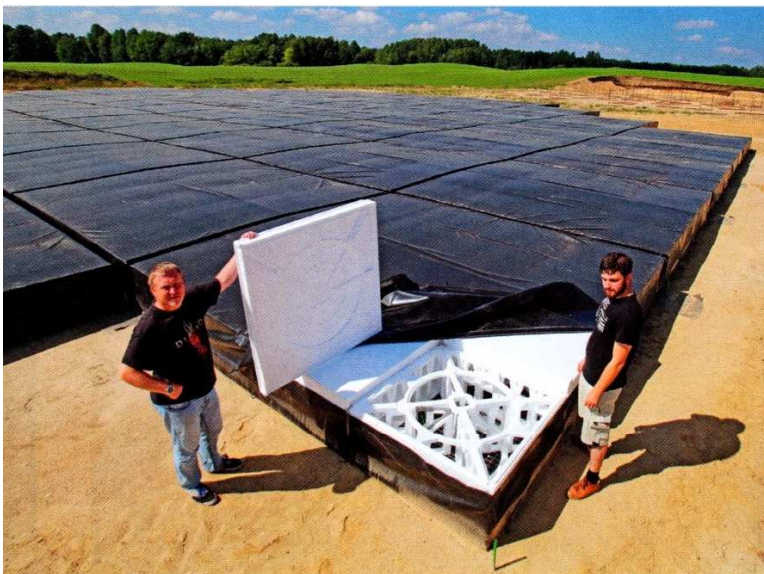


Fot. Lohr/Astron (2x), Wikipedia

Stumetrowej średnicy radioteleskop w Effelsbergu, Niemcy

interferometria wielkobazowa – VLBI. Polega ona na zbieraniu danych przez różne radioteleskopy, znajdujące się w znacznej odległości od siebie, i zestawianiu ich razem.

Radioastronomowie mają zatem do dyspozycji wielkie teleskopy w pełni ruchome (np. Effelsberg – 100 m średnicy) i nieruchome (Arecibo – 305 m średnicy, nowo otwarty chiński FAST – 500 m). Większość teleskopów pracuje w sieciach VLBI, dając wirtualny instrument o rozmiarach całej Ziemi (!). W typowych częstotliwościach używanych przez radioastronomów w obserwacjach VLBI otrzymujemy rozdzielczości, które w pewnym uproszczeniu dają możliwość obserwacji centymetrowych detali na powierzchni Księżyca. Niestety, im dłuższe fale radiowe chcemy obserwować, tym rozdzielczość jest mniejsza, a na dodatek bardziej przeszkadza jonosfera (warstwa atmosfery).



NAJNOWOCZEŚNIEJSZY PRZYRZĄD OBSERWACYJNY

Wszyscy zapewne widzieli, jak migoczą gwiazdy. To efekt związany z ruchami powietrza i tworzeniem się obszarów o różnych właściwościach optycznych. Astronomowie, chcąc pozbyć się tego efektu, albo wysyłają teleskopy optyczne na orbitę, albo budują skomplikowane układy redukujące tę niedogodność, zwane optyką aktywną. Krótkie fale radiowe przechodzą przez atmosferę bez większych zakłóceń, jednak te powyżej metra ulegają odkształceniom w sposób podobny do światła, aczkolwiek zjawisko to jest wolniejsze i bardziej wielkoskalowe.

Do niedawna nasza znajomość jonosfery i możliwość jej modelowania były tak nikłe, że nikt nie wyobrażał sobie obserwacji radiowych na falach o długości powyżej metra za pomocą interferometrów o bazach dłuższych niż kilka kilometrów. Podobnie było z technologiami przetwarzania wielkiej liczby danych z teleskopów będących fazowym układem wielu prostych anten dipolowych. Na szczęście jedno i drugie stało się możliwe i tak narodził się LOFAR (ang. LOW Frequency ARray).

Do dziś powstały 52 stacje sieci LOFAR, w których zainstalowano łącznie ponad 100 tys. anten dipolowych z systemami odbiorczymi przystosowanymi do rejestracji fal o długości od jednego do kilkunastu metrów. W skład sieci wchodzi 40 stacji na terenie Holandii (24 stanowią tzw. Core, z czego 6 ulokowano w obszarze nazywanym Superterp) oraz 12 w innych krajach europejskich, w tym 3 stacje zainstalowano w Polsce. Pola anten wyglądają niepozornie i w niczym nie przypominają gigantycznych stalowych konstrukcji klasycznych radioteleskopów. Na powierzchni około 2 ha ulokowano pokryte czarną folią skrzynie oraz

W podolsztyńskich Bałdach, na terenie stacji badawczej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, kończy się montaż pierwszej w Polsce stacji radioastronomicznej europejskiego systemu LOFAR.

proste kratownice z dwumetrowymi słupkami. Jednak prostota ta jest pozorna. 40 km zakopanych pod ziemią kabli łączy każdy dipol ze skomplikowanym systemem analizatorów digitalizujących sygnał i przesyłających go internetem do korelacji z prędkością 10 Gb/s.

W stacjach instaluje się dwa typy anten:

- anteny wysokiej częstotliwości (HBA) są przystosowane do odbioru fal w zakresie 110–250 MHz (3–1 m) i zebrane w panelach po 16 par dipoli. Każde pole to 48 lub 96 paneli;
- anteny niskiej częstotliwości (LBA) służą do odbioru fal w zakresie 10–90 MHz (10–4 m). Każda stacja to 48 lub 96 anten.

W pierwszej oddanej do użytku stacji (w sierpniu ub.r.) w Bałdach pod Olsztynem, należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, zainstalowano maksymalną konfigurację, czyli łącznie 3264 dipole. Podobną konfigurację zastosowano w stacji w Borówcu pod Poznaniem, należącej do Centrum Badań Kosmicznych. Z kolei stacja Uniwersytetu Jagiellońskiego jest budowana w Łazach koło Krakowa w nieco skromniejszej wersji.

Każdy dipol jest anteną dookólną, czyli „widzi” całe niebo, ale ich układ – dzięki cyfrowemu sterowaniu zapóźnieniami sygnału (fazami) w poszczególnych elementach – może symulować pojedynczy kierunkowy radioteleskop. Pole widzenia takiej anteny (wiązka) jest wówczas stukrotnie większe niż w przypadku 100-metrowego paraboloidu obserwującego niebo na częstotliwości 350 MHz. Jeśli dysponuje się odpowiednio szybkim systemem informatycznym, to można obserwować w tym samym czasie wiele obiektów w różnych częściach nieba ponad horyzontem! Teoretycznie całą siecią LOFAR można jednocześnie prowadzić 256 niezależnych obserwacji.

Komputery muszą być tutaj potężne. Już dziś liczba danych generowanych przez stację w Bałdach wywołuje ruch w internecie większy niż cały Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, który należy do największych w kraju. Znajdujący się w Holandii centralny korelator dawniej wykorzystywał superkomputer IBM Blue Gene/P z przeszło ćwierć milionem procesorów, a dziś bazuje na klastrze 32 potężnych kart graficznych NVIDIA Tesla i musi sobie poradzić ze strumieniem około 13 terabitów danych na sekundę.

BADANIA SYSTEMEM LOFAR

Polskie stacje skupią się na obserwacjach pulsarów (rodzaj gwiazdy neutronowej wysyłającej impulsy promieniowania elektromagnetycznego), do czego LOFAR nadaje się znakomicie, będąc najbardziej czułym w tych zakresach widma, w których emisja od pulsarów jest najsilniejsza. Badanie Słońca, a co za tym idzie – kwestii powiązanych z szeroko pojętą kosmiczną pogodą, jest także jednym z priorytetów całej sieci LOFAR, jak również polskich grup badawczych planujących obserwacje dla polskich stacji.

W przedziale częstotliwości stosowanych przez LOFAR można obserwować linie widmowe wodoru, a jak wiadomo, widma pierwiastków służą do pomiaru

prędkości oddalania się galaktyk. LOFAR oferuje również możliwość detekcji promieniowania aktywnych radiowo planet pozasłonecznych (takich jak Jowisz). Co więcej, przypuszcza się, że dzięki tej sieci „zobaczymy” nawet księżycy tych planet.

To nie wszystkie możliwości użycia systemu LOFAR w badaniach. Gdy do Ziemi dociera promieniowanie kosmiczne, to podczas jego wejścia w atmosferę uwalnia się bardzo szczególny rodzaj fal radiowych, które system LOFAR jest w stanie rejestrować. Jednakże jedno z najciekawszych i najbardziej praktycznych zastosowań teleskopu LOFAR uwidacznia się nie podczas celowych obserwacji astrofizycznych, ale w trakcie ich opracowywania. Wtedy swego rodzaju „odpadem” jest bardzo dokładna informacja o stanie jonosfery. A informacja taka może być kluczowa nie tylko w przypadku telekomunikacji satelitarnej, ale też w aspekcie tzw. pogody kosmicznej (ogół zjawisk obserwowanych na Słońcu i w obszarze ziemskiej magnetosfery).

Zbudowanie trzech stacji LOFAR w Polsce to wielki sukces polskiej radioastronomii. Uwieńczeniem determinacji i ciężkiej pracy było podpisanie umowy członkostwa w elitarniej grupie ILT (International

LOFAR Telescope), co odbyło się 3 października ub.r. w Olsztynie. Nasza obecność w strukturach ILT to wielka nobilitacja, trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że LOFAR to nie tylko najnowocześniejszy dziś interferometr radiowy, ale także pole doświadczalne dla teleskopu rodem z marzeń autorów fantastyki naukowej – Square Kilometre Array (SKA).

Ta sieć teleskopów – będąca nie tylko zespołem anten fazowych jak w przypadku LOFAR, ale także tradycyjnych o niewielkich rozmiarach – zostanie ulokowana w dwóch miejscach: Australii i Republice Południowej Afryki. Czułość SKA będzie na tyle duża, że pozwoli na detekcję sygnału o mocy takiej jak ten odbierany przez zwykły radar stosowany na lotniskach, ale z odległości 10 lat świetlnych. W planach systemu SKA jest rozmieszczenie tysięcy elementów połączonych ze sobą oraz z centrami analizatorów i korelatorów światłowodami o długości około 100 tys. km. Obserwacje przekonwertowane na sygnał cyfrowy wygenerują w przypadku SKA strumień danych stukrotnie przekraczający liczbę danych dziś generowanych w ruchu internetowym.

dr Leszek Błaszkwicz

radioastronom, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

Antena dipolowa

Nazwa pochodzi z gr. *di-polos* – dwubiegunowy. To najstarszy, lecz ciągle używany rodzaj anten radiowych symetrycznych. Składa się z dwóch odcinków prostego przewodu, które mogą leżeć w jednej linii, ale mogą być też załamane w stosunku do siebie lub tworzyć pętle. Tego typu anteny występują w kilku wersjach, np.: dipole, półdipole, krótkie dipole lub dipole szerokopasmowe. A jak antena odbiera fale? Składowa elektryczna fali radiowej (taka fala ma wzajemnie prostopadłe składowe: elektryczną i magnetyczną) generuje w obu ramionach dipola prądy o takich samych amplitudach, ale o przeciwnych zwrotach. Jeśli zatem między ramionami wstawimy zwykły miernik, to będzie wskazywał on, przy obecności fal radiowych, zmienny prąd elektryczny płynący między ramionami. Dla operatorów sieci LOFAR (i ogólnie radioastronomów) właśnie ten prąd ma największe znaczenie, bo jego charakterystyka zawiera informacje o obiektach, w których fale powstały. Generalnie dipole mają dosyć słabe parametry i dlatego stosuje się je najczęściej w dużych systemach antenowych o niekiedy bardzo złożonej budowie.

Tego typu anteny używał sam Heinrich Hertz już w 1886 r. w swym pionierskim nadajniku radiowym (dipol może bowiem nie tylko przetwarzać energię fal radiowych w prąd elektryczny, ale również po podłączeniu do zmiennego źródła prądu generować fale elektromagnetyczne). Jako odbiornik służyła mu wtedy antena o kształcie pętli. Hertz prowadził badania w przesyłaniu fal radiowych z dipolami, jednak Guglielmo Marconi w swych transmiterach stosował anteny monopolowe, które, najkrócej ujmując, są pojedynczym elementem dipola. Marconi wynalazł ten typ anteny w 1895 r., a już 6 lat później dokonał transmisji sygnału przez Atlantyk.

Warto dodać, że dipol jest też podstawą budowy jednej z najznakomitszych konstrukcji antenowych – anteny typu Yagi. Ta wymyślona w Japonii przez Hidetsugu Yagiego i Shintarō Udę w roku 1926 kierunkowa antena o bardzo dobrych parametrach to nic innego jak wiele wzajemnie równoległych dipoli ustawionych w jednej linii.

Na schemacie po prawej: Fala elektromagnetyczna (EM) to zmienne w czasie i wzajemnie prostopadłe zaburzenia pola magnetycznego i elektrycznego niosące pewną energię. Na rysunku przedstawiono tylko zmiany pola elektrycznego (E), którego energia przekazywana do ładunków elektrycznych w ramionach dipola powoduje w nich okresowe zmiany potencjałów (V). Te z kolei wymuszają ruch ładunków elektrycznych (prąd elektryczny). Odbiornik (R) wykrywa to jako zakodowaną informację w przypadku telekomunikacji. W przypadku badań Kosmosu dostajemy informację o źródle fali EM.

