

Wszechświat w mojej kieszeni

Radioteleskopy

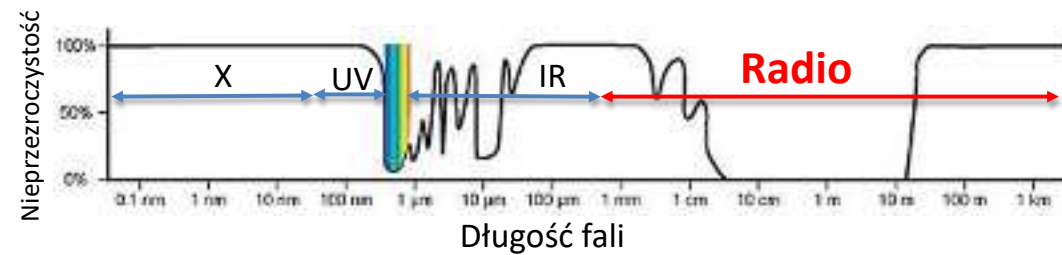


Laurent Pagani
CNRS & Observatoire de
Paris-PSL

Wprowadzenie

Aby obserwować kosmos, musimy przechwytywać wiadomości, które nam wysyła (patrz TUIMP 43). Najbardziej znanym posłańcem jest światło, z którego tylko niewielka część może być przechwycona przez oko (tzw. „światło widzialne”, składające się z kolorów tęczy). Ale istnieje wiele innych rodzajów światła, z których jeden został odkryty pod koniec XIX wieku i od tego czasu jest szeroko stosowany: fale radiowe. Fale te mają długość (λ) bardzo dużą w porównaniu do światła widzialnego (od tysiąca do miliardów razy dłuższą), a zatem bardzo niską częstotliwość (ν) ($c = \lambda \times \nu$, gdzie c jest prędkością światła). Udało nam się zbudować wiele urządzeń do nadawania i odbierania fal radiowych, takich jak radia lub telewizory, krótkofalówki, telefony komórkowe i radary.

3



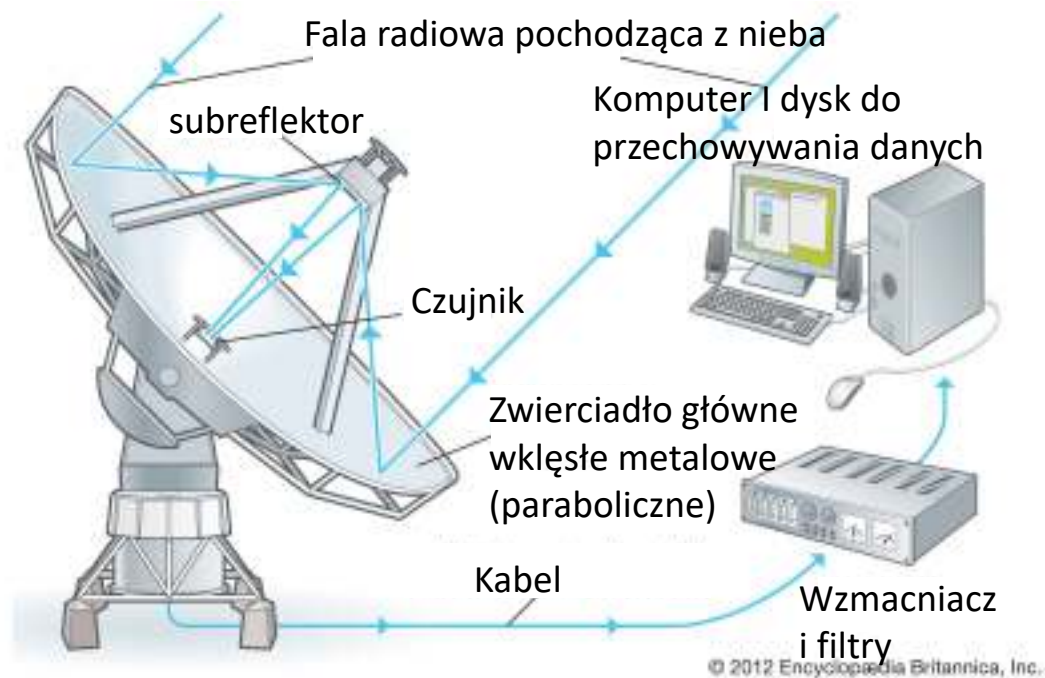
Przezroczystość nieba w zależności od długości fali.

Fale radiowe obejmują zakres od około 1 mm do dziesiątek km długości fali. Niebo jest całkowicie przezroczyste od 3 cm do 20 m i częściowo przezroczyste między 3 cm a 0.3 mm. Przy krótkich długościach fal korzystne jest umieszczanie radioteleskopów na dużych wysokościach, aby poprawić transmisję częściowo blokowaną przez parę wodną, która występuje głównie na niższych wysokościach.



Wszystkie te urządzenia działają na tej samej zasadzie: wychwytyją one falę radiową, którą wzmacniają i demodulują, aby dostarczyć dźwięk lub obraz.

2



Schemat radioteleskopu. Zwierciadło główne, metalowe i duże, kieruje sygnał do zwierciadła wtórnego, a następnie do detektora. Sygnał jest następnie wzmacniany i filtrowany w zakresie częstotliwości aby ostatecznie zostać przeanalizowanym przez komputer. Jeśli częstotliwość jest zbyt wysoka, aby można ją było bezpośrednio wzmocnić, częstotliwość jest najpierw zmieniana na niższą wartość przed wzmocnieniem. Jest to tak zwana technika heterodynowa.

Technika radiowa

Ze względu na niską energię, korpuskularna natura światła radiowego (patrz TUIMP 43) na ogół się nie ujawnia. Raczej oddziałuje ono jako fala, składająca się z części elektrycznej i części magnetycznej. Jest emitowana lub odbierana za pomocą anteny - zazwyczaj struktury z metalu przewodzącego, wrażliwej na pole elektryczne fali radiowej przy odbiorze lub tworzącej to pole elektryczne przy nadawaniu.

Radioastronomia wykorzystuje wszystkie techniki radiowe związane z dużymi antenami skierowanymi w niebo, aby wychwytywać bardzo słabe sygnały, które docierają do nas ze Wszechświata.

Należy pamiętać, że radioteleskopy mogą obserwować zarówno w dzień, jak i w nocy, ponieważ niebo nie emituje fal radiowych.



Antena radaru Würzburg

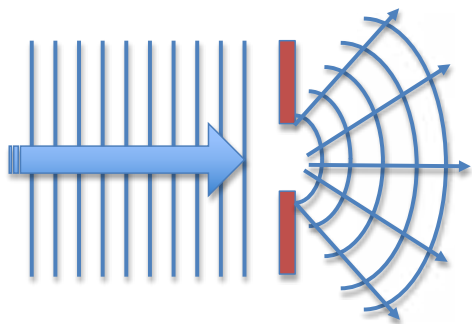
Emisja Słońca została po raz pierwszy wykryta w 1942 roku przez brytyjskiego fizyka Jamesa Heya. Odkrycie to pozostało tajemnicą, ponieważ alianci wiedzieli, że ich samoloty, jeśli będą miały słońce za sobą, nie zostaną wykryte przez niemieckie radary.

Te niemieckie radary (zwane Würzburg) zostały ponownie wykorzystane po II wojnie światowej do wykonania pierwszych kroków w radioastronomii w Europie.

Początki

Po początkowych nieudanych próbach wykrycia fal radiowych ze Słońca w latach 1896-1901, to Karl Jansky dokonał pierwszego odkrycia pozaziemskich fal radiowych, emitowanych przez centrum Drogi Mlecznej, w 1932 roku.

Od tego czasu radioastronomia poczyniła szybkie postępy, stając się bogatą nauką i to bardzo komplementarną w stosunku do tradycyjnej astronomii optycznej (patrz TUIMP 46). Radioastronomia może wykonywać bezpośrednią detekcję światła, jak w optyce (mierząc energię sygnału) lub detekcję heterodynową (mierząc padające pole elektryczne), co pozwala na wzmocnienie sygnału i filtrowanie go z dużą precyzją dzięki elektronice o częstotliwości radiowej.



Wzór dyfrakcyjny:
fala, która dociera do
przeszkody,
rozprasza się w
różnych
kierunkach.



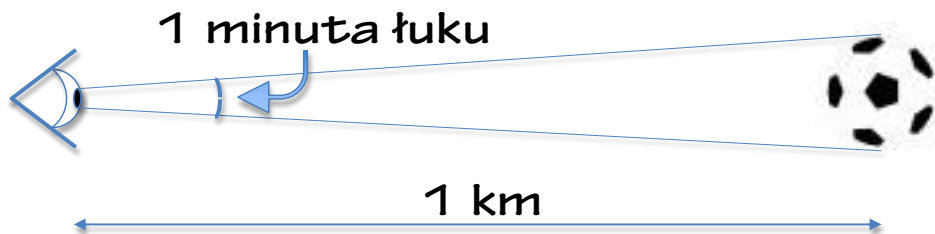
FAST, w Chinach, o średnicy 500 m, jest największym stacjonarnym radioteleskopem na świecie.



Green Bank Telescope
w USA, o średnicy
około 100 m, jest
największym
ruchomym
teleskopem na świecie.

Rozmiar i rozdzielczość

W przypadku światła widzialnego rozdzielczość teleskopów jest ograniczona przez turbulencje atmosferyczne. Ten problem nie występuje w zakresie radiowym, ale dyfrakcja jest zauważalna (patrz rysunek na sąsiedniej stronie). Rozdzielczość kątowa wynosi $\theta \approx 1,2 \lambda / D$; λ to długość fali, D to średnica teleskopu, a θ jest w minutach łuku. Ponieważ λ jest duże, dyfrakcja jest znaczna, co ogranicza zdolność rozdzielczą radioteleskopów. Aby to złagodzić, radioastronomowie używają wyjątkowo dużych anten, które są jednak bardzo wrażliwe na zakłócenia elektryczne. Dlatego znajdują się one daleko od centrów miejskich i fabryk, które produkują zakłócenia elektryczne. Niektóre częstotliwości radiowe są chronione przed emisjami antropogenicznymi przez Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU).



Kilka przykładów rozdzielczości kątowej:
 Oko ma rozdzielczość jednej minuty łuku, więc można by rozróżnić 2 piłki futbolowe znajdujące się obok siebie w odległości 1 km.
 Teleskop optyczny ma rozdzielczość jednej sekundy łuku. Jest to 60 razy lepsze niż oko, więc może rozróżnić 2 piłki w odległości do 60 km lub 2 kostki do gry w odległości 1 km.

FAST ma jeszcze mniejszą rozdzielczość niż oko: trzy minuty łuku. Może oddzielić 2 piłki tylko do odległości 300 m (mniej niż rozmiar anteny!).

Radiointerferometry mogą zobaczyć bardzo drobne szczegóły. Ich rozdzielczość jest mierzona w tysięcznych lub nawet milionowych częściach sekundy łuku. Przy tej ekstremalnej rozdzielczości mogłyby zobaczyć piłeczkę ping-pongową na Księżycu.

Interferometry

Radioteleskopy można również tworzyć, uruchamiając kilka anten i łącząc ich sygnały jednocześnie. Nazywa się to „radiointerferometrią”, ponieważ sygnały pochodzące ze wszystkich anten są mieszane lub „interferowane” ze sobą. Odległości między antenami mogą być ogromne, aż do rozmiaru Ziemi, a nawet większe, jeśli jedna z anten zostanie umieszczona na orbicie, jak w przypadku 10-metrowego rosyjskiego teleskopu RadioAstron.

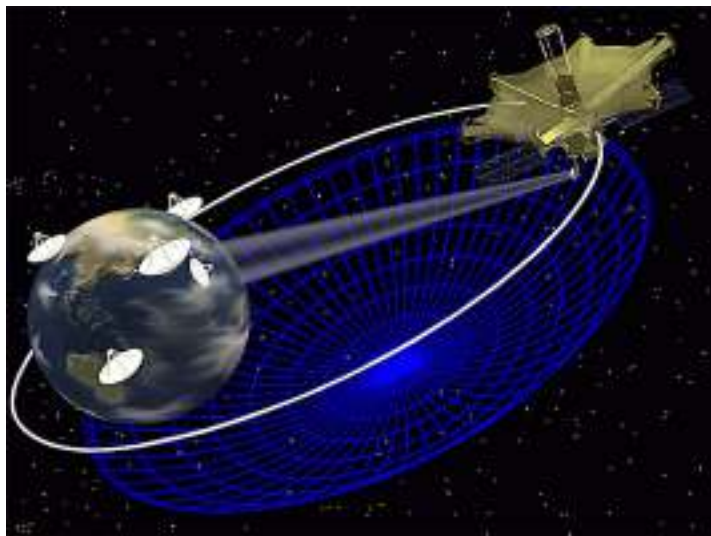
Rozdzielczość interferometru jest podobna do rozdzielczości radioteleskopu z pojedynczą anteną o średnicy równej odległości między dwiema najbardziej odległymi antenami. Taki duży radioteleskop z pojedynczą anteną byłby niemożliwy do zbudowania. Zobacz ilustracje na stronie 12.

(IRAM - J. Boissier)



NOEMA, interferometr Plateau de Bure (IRAM). 12 anten o średnicy 15 m każda obserwuje to samo źródło astronomiczne jednocześnie.

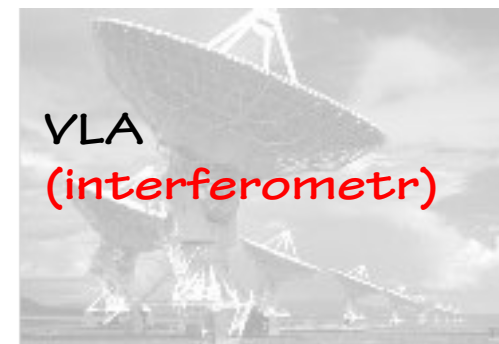
10-metrowy rosyjski radioteleskop Radio-Astron na orbicie wokół Ziemi obserwuje źródło astronomiczne w tym samym czasie jak



teleskopy na ziemi. Rozdzielczość jest taka jak równoważnego radioteleskopu większego niż Ziemia (przedstawionego na niebiesko na rysunku), ale powierzchnia zbierająca pozostaje bardzo mała, więc można obserwować tylko bardzo jasne obiekty. 12

Mapowanie

Radioteleskopy z pojedynczą anteną często obserwują tylko jeden punkt na niebie na raz (zwany „pikselem”), ponieważ ich odbiornik ma tylko jeden czujnik. Aby uzyskać obraz, teleskop musi skanować całą powierzchnię punkt po punkcie. Punkty te są następnie składane w celu uzyskania obrazu lub „mapy”. Z drugiej strony, ich odbiorniki mogą wykrywać szeroki zakres częstotliwości w tym samym czasie z bardzo wysoką „rozdzielczością spektralną”. Umożliwia to pomiar bardzo małych ruchów w obłokach, w których powstają gwiazdy, oraz identyfikację setek różnych cząsteczek międzygwiazdowych. Niektóre radioteleskopy mają odbiorniki z setkami do tysięcy pikseli, jak kamera, ale bez rozdzielczości spektralnej. Odbiorniki te nazywane są „bolometrami”; są one przydatne do obserwacji zimnego pyłu międzygwiazdowego, który emituje fale radiowe o wysokiej częstotliwości.



Quiz

Które obrazy przedstawiają interferometry?



Odpowiedź na odwrocie

Antena rożkowa
Bell Labs
(radioteleskop)

Jodrell Bank
(radioteleskop)

Odpowiedź

Interferometry zawsze składają się z kilku anten.

Nobeyama
radioheliograf
(interferometr)

VLA
(interferometr)

APEX (widziany od tyłu)
(radioteleskop)

Kosmiczne
Obserwatorium
Herschela
(radioteleskop)

Wszechświat w mojej kieszeni nr 45

Niniejsza książeczka została napisana w 2025 roku przez Laurenta Paganiego z Observatoire de Paris i CNRS i zrecenzowana przez Grażynę Stasińską z Observatoire de Paris i Stana Kurtza z IRyA (Morelia, Meksyk)

Zdjęcie na okładce: jeden z najnowszych radioteleskopów: MEERKAT

(O ile nie określono inaczej, ogólne źródła: Wikipedia)



Aby dowiedzieć się więcej o tej kolekcji i tematach prezentowanych w tej książeczce, odwiedź <http://www.tuimp.org>

Tłumaczenie: Ryszarsz Szczerba
TUIMP Creative Commons

