

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Josef Olmr

Rádiové interferometry

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 18 (1973), No. 4, 193--197

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138828>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1973

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Rádiové interferometry

Josef Olmr, Ondřejov

Protože stavba velkých rádiových teleskopů je velmi nákladná i obtížná a rozlišovací schopnost je při tom malá, zvolilo se zanedlouho po vzniku radioastronomie řešení na podkladě interferometrie.

Rozlišovací schopnost antény (radioteleskopu) závisí na rozměru antény a na vlnové délce záření. Čím je anténa větší, tím dokonalejší je rozlišovací schopnost přístroje; čím je vlnová délka větší, tím nedokonalejší je rozlišovací schopnost. Matematicky je možno vyjádřit vztah mezi rozlišovací schopností, rozměrem antény D a vlnovou délkou λ vzorcem $\Theta = \lambda/D$, kde Θ je rozlišovací schopnost v radianech. Jestliže Θ je v obloukových minutách, pak vztah má tvar $\Theta = 3500\lambda/D$. Abychom např. dosáhli rozlišovací schopnosti 10 obloukových minut na vlnové délce 1 cm, stačí rádiový teleskop s anténou o průměru 3 m; na 10 cm by musel mít anténu o průměru 30 m a na 1 m o průměru 300 m. Pro rozlišovací schopnost např. 1 minuty je třeba, aby anténa měla aperturu, která by pojala 3000 vlnových délek. Ale k dosažení stejné rozlišovací schopnosti 1 minuty není třeba sestavit jednu anténu s průměrem 3000 vlnových délek, neboť se dvěma anténami ve vzdálenosti 3000 vlnových délek dospíváme k témuž výsledku. Při vlnové délce 1 m by bylo k dosažení rozlišovací schopnosti 1 minuty zapotřebí, aby antény byly vzdáleny 3 km. Abychom se více přiblížili jedné anténě, můžeme použít řadu antén pracujících na 1 m, a to tak, aby vzdálenost krajních prvků byla rovna 3 km.

Interferometr je zařízení převyšující v rozlišovací schopnosti antény, z nichž se skládá, avšak schopnost shromažďovat energii odpovídá skutečnému povrchu antén. K detekci slabých zdrojů je nezbytná velká plocha, aby bylo možno soustředit co největší množství energie; interferometry nejsou proto vhodné pro hledání nejslabších zdrojů. Proto se stavějí navzdory velkým technickým potížím a značným finančním nákladům antény úctyhodných rozměrů. V tabulce na str. 194 uvádíme obří radioteleskopy.

První interferometry měly dvě antény vzdálené o násobek vlnové délky, na níž se měřilo ($D = n\lambda$). Když se zdroj pohybuje před anténami v důsledku denního pohybu, obdržíme interferenční proužky, sled maxim a minim, jejichž počet je tím menší, čím jsou antény blíže. Narážíme zde na tuto potíž: přijatý signál je třeba vést z každé antény k přijímači dlouhým vedením (nejčastěji koaxiálním kabelem), a tím dochází ke značným ztrátám signálu. K odstranění této závady se užívá několika metod. Můžeme zesílit signál v každé anténě dříve, než jej pošleme do vedení. Zesilovače musí být dlouhodobě stabilní. Můžeme rovněž změnit frekvenci signálu ve směšovači dříve, než jej pošleme do vedení. Protože ztráty ve vedení ubývají s frekvencí, lze volit frekvenci tak, aby ztráty přenosu byly co nejmenší. Má-li směšovač dobře fungovat, je třeba, aby oscilátor byl společný pro obě antény. Poněvadž cena kabelů je vysoká nebo někdy je vůbec nemůžeme klást, užívá se rádiové spojení mezi přijímačem a anténami. I když při rádiovém přenosu jsou ztráty, je tato metoda při základnách o mnoha kilometrech nejvhodnější. Důležitá je také metoda zrcadel, jimiž se přijatý signál jedné antény vrací k přijímači.

Jako zrcadla se užívalo v počátcích radioastronomie vodní plochy moře. Radioastronomická skupina v Pulkově použila dvou orientovatelných zrcadel, jakéhosi rádiového celostatu.

Interferometr o dvou anténách se stále ještě často užívá. První byl zkonstruován RYLEM a VONBERGEM v Cambridge v roce 1947; umožnil objevit prvé rádiové zdroje malých rozměrů. Zdroje, jejichž rozměry jsou větší, než je perioda interferenčních proužků,

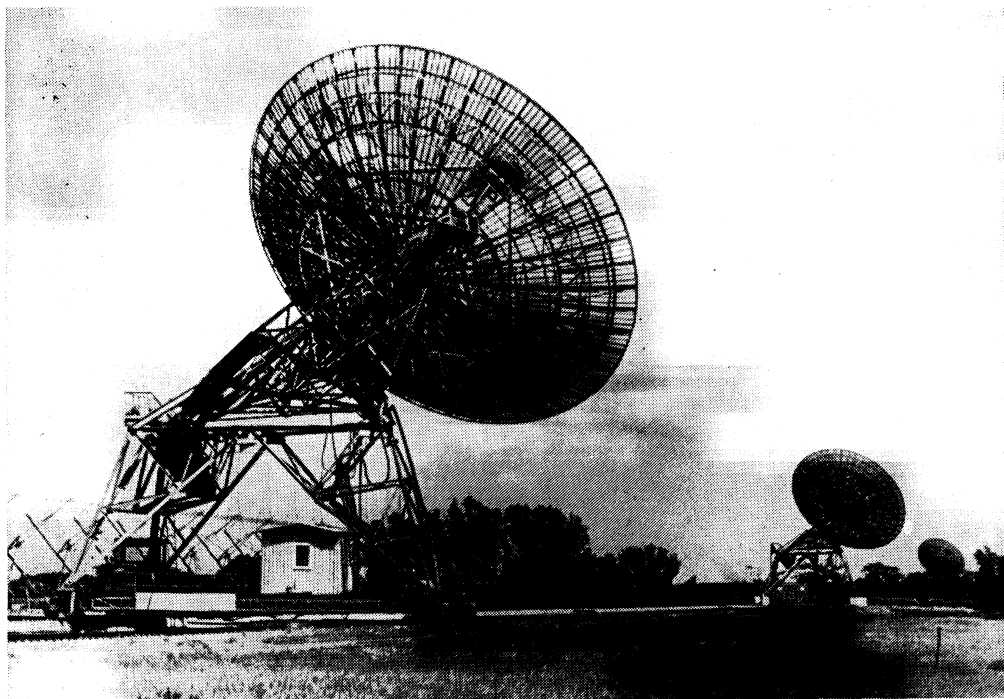
Observatoř	Rozměry v m	Vlnová délka v cm	Zahájení činnosti roku	Typ antény
Jodrell Bank (Anglie)	76	21	1957	Pohyblivé parabolické zrcadlo
Parkes (Austrálie)	65	6	1962	Pohyblivé parabolické zrcadlo
Green Bank (USA)	90	21	1962	Nepohyblivé parabolické zrcadlo (meridiánové)
Arecibo (Portorico)	300	30	1963	Pevná anténa s pohyblivým ohniskem
Danville (USA)	183 × 122	50	1963	Pevný parabolický válec
Columbus (USA)	80 × 21	21	1962	Rovinný reflektor a pevný parabolický reflektor
Pulkovo (SSSR)	140 × 3	3	1957	Kulový poledníkový reflektor
Nançay (Francie)	200 × 35	6	1965	Rovinný poledníkový re- flektor + kulový pevný reflektor
Sydney (Austrálie)	2 × 1600	75	1965	Millsův kříž
Bologna (Itálie)	2 × 1000	92	1965	Millsův kříž
Bonn (NSR)	100	21	1970	Pohyblivé parabolické zrcadlo
SSSR	600		v konstrukci	

nedají žádný signál na výstupu přístroje; to však snadno umožní rozeznávat malé zdroje i zdroje o malé intenzitě.

Od jednoduchého interferometru o dvou anténách se odvozují dva typy zařízení: interferometr s mnoha prvky a interferometr s proměnnou základnou. Interferometr s mnoha prvky se užívá zejména k pozorování Slunce, ale v poslední době i ke sledování rádiových zdrojů. Slunce je nejintenzivnější zdroj na obloze pro vlnové délky kratší než

několik metrů. Jedním z velkých interferometrů je CHRISTIANSENŮV australský přístroj o 64 prvcích, kterým se denně získávají rádiové obrazy Slunce na 21 cm s rozlišovací schopností 3 obloukových minut. Obdobný je i interferometr ve Stanfordu v USA, jímž se denně pořizují rádiové obrazy Slunce na 9,1 cm. Značné rozměry má interferometr v Nančay ve Francii, neboť na vzdálenosti 32 antén má 1550 m. Pozoruje se jím Slunce na vlnové délce 1,77 m s rozlišovací schopností 3,5 obloukových minut.

Mohutným interferometrem, který bude sloužit zejména k pozorování vzdálených zdrojů, je interferometr ve Westerborku v severovýchodním Holandsku. Sestává z 12 jednotlivých parabolických antén, z nichž každá má průměr 25 m. Deset antén je pevných ve vzájemné vzdálenosti 144 m, dvě jsou pohyblivé na kolejnici dlouhé 300 m.



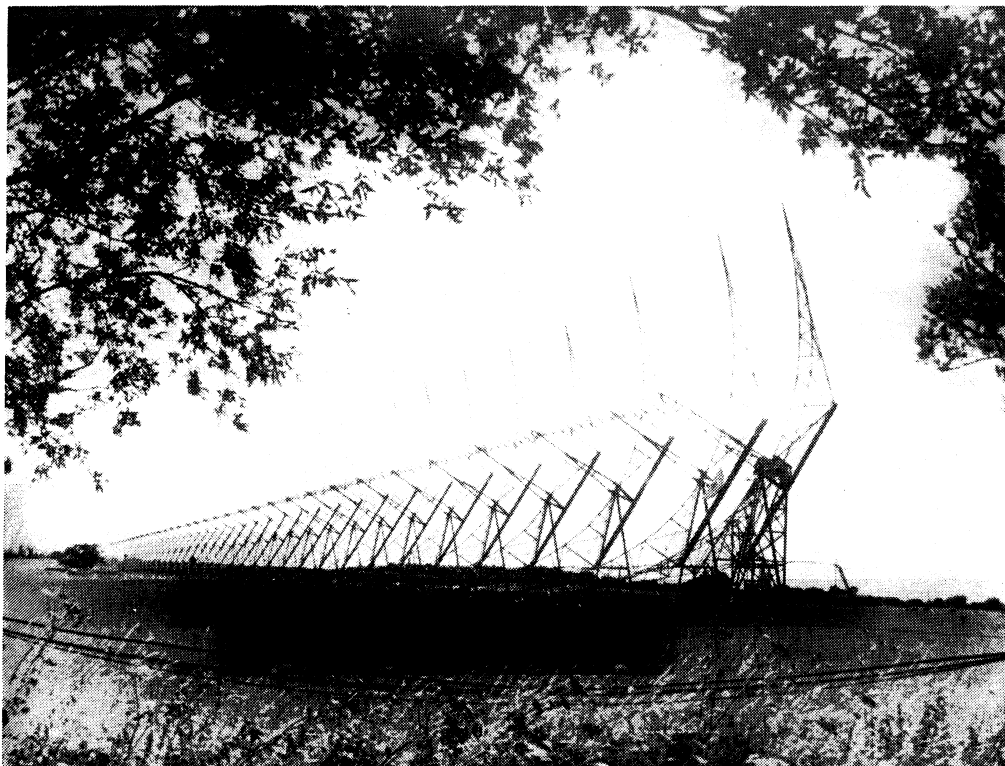
Interferometr sestávající ze tří antén o průměru 19 m v řadě o délce 1,6 km. Měří se na vlnové délce 11 cm a 6 cm. (Cambridge, Anglie.)

Tímto způsobem může být utvořeno 20 interferometrů. Seřízení jednotlivých antén a automatické sledování určitého objektu se děje číslicovým kontrolním systémem, který dostává informace od počítače podle předem vloženého programu. Rozlišovací schopnost tohoto interferometru je 22 obloukových vteřin při vlnové délce 21 cm.

Nejnovější interferometr patří mezi tak zvané syntetické antény. Jejich teorií se první zabýval Ryle v Cambridge. Při použití interferometru s proměnnou základnou se tvoří syntéza lineární antény pomocí dvou malých antén, jejichž vzdálenost se může měnit. Rovněž je možné použít velké antény ve směru východ – západ a jedné menší, která je

pohyblivá s osou sever–jih. Pro každou polohu pohyblivé antény se údaje získané z pozorování posílají do počítače, který je tak kombinuje, že vzniká výsledek jako z jedné antény velkých rozměrů. Diagram příjmu interferometru o základně $2n_0\lambda$ je sinusoida s úhlovou periodou $1/2n_0$. Vzhledem k tomu, že záznam je sinusoidální, je interferometrie zařízení velmi pohodlné, ať je pozorovaný zdroj jakýkoliv.

Perioda záznamu závisí jen na poloze zdroje a délce základny; nezávisí však ani na zisku přijímačů, ani na vyzařovacím diagramu jednotlivých antén. Tato okolnost je velmi důležitá, jestliže pozorujeme zdroj málo intenzivní, který dává interferenční proužky prakticky neviditelné, poněvadž jsou utopeny ve fluktuacích záznamu registrátoru.



Válcový parabolický reflektor o délce 450 m a šířce 20 m. Používá se nyní ke studiu pulsarů. (Cambridge, Anglie.)

Hledáme-li tento zdroj v určité oblasti oblohy, víme předem, že – jestliže existuje – projeví se sinusoidou, jejíž perioda a priori známe. Skutečné zachycení zdroje se rozpozná z fluktuací, ať je jakkoliv slabý. Je sinusoidální a o známé periodě, je tedy předvídatelný; to však neplatí o detailech fluktuací.

Citlivost určitého zařízení je možno zvýšit delší dobou pozorování: integrace signálu dovolí zmenšit relativní význam statistických fluktuací. V případě interferometru hledáme v šumu signál známé periody. Řekli jsme, že za účelem zvýšení rozlišovací schopnosti

se užívalo systémů o více prvcích nebo dvou antén vzdálených nejdříve stovky, později tisíce kilometrů.

V počátcích radioastronomie byla rozlišovací schopnost malá, neboť nedosahovala ani zdaleka rozlišovací schopnosti optické astronomie; dnes je tomu již naopak. Rozlišovací schopnost palomarského optického dalekohledu je dvě setiny obloukové vteřiny. Rozlišovací schopnost šestimetrového optického dalekohledu v Sovětském svazu bude 17 tisícin vteřiny; rozlišovací schopnost radioteleskopu v Jodrell Bank je 1° při pracovní vlnové délce 21 cm. U interferometrů s velkou základnou se rozlišovací schopnost zlepšovala. Postupem doby se užívalo delší a delší základny, až se dosáhlo rozlišovací schopnosti 0,0005 obloukových vteřin i vyšší.

První pokus s dvěma zrcadly o velké vzdálenosti byl proveden s anténami, z nichž jedna byla ve Spojených státech a druhá ve Švédsku. Měřilo se na 6 cm. Stanice jsou spojeny telefonicky a na daný povel uvedou přístroje do provozu. Signál se zachycuje na magnetofonový pásek; oba záznamy se pak převezou do výpočetního střediska, kde se zřazují. Je-li zřazování v pořádku, objeví se interferenční proužky. Největším problémem zůstává časová synchronizace. Požadovaná přesnost je kolem jedné miliontiny vteřiny. Nejčastěji se otázka synchronizace řeší vodíkovým atomovým normálem. Nejdelší základna zatím byla realizována mezi Spojenými státy a Austrálií, a to v délce přes 10 000 km. V poslední době se konaly pokusy s interferometrem vytvořeným jedním zrcadlem (o průměru 22 m) v Sovětském svazu na Krymu a druhým (o průměru 42,7 m) ve Spojených státech (Green Bank, západní Virginie). Pokusy se konaly na vlnové délce 6 cm a 3 cm. Bylo by však možno měřit na vlnách ještě kratších a tak zvýšit rozlišovací schopnost. I když první pokus v roce 1969 nepřinesl výsledky, při dalších pokusech bylo možno nalézt interferenční proužky pro 12 rádiových zdrojů na 6 cm a pro 2 quasary na 3 cm.

Dosažená rozlišovací schopnost umožnila studium struktury rádiových zdrojů, i když ještě nedosahuje takové hranice, aby bylo možno studovat strukturu rádiových zdrojů v detailech. Proto sovětsí radioastronomové při pokusu v květnu a červnu 1971 použili nově sestrojeného maseru, chlazeného héliem, jako nízkošumového zesilovače. Zvýšená citlivost a rozlišovací schopnost (bude snad možno měřit ještě na kratších vlnách) umožní v budoucnu studium i největších podrobností v jádrech rádiových galaxií i quasaru a posune tak naše znalosti o fyzice rádiových zdrojů. Zároveň pomůže získat odpověď na některé kosmologické otázky.

Ocenit význam velkého vědeckého objevu učiněného v současné době je úplně nemožné. Tady vzniká velký prostor nejen pro spisovatele vědecko-fantastických příběhů, ale bohužel i pro demagogy, kteří vymáhají podpory pro vlastní vědeckou práci... Význam vědeckých objevů je třeba hodnotit z hlediska vnitřní logiky rozvoje

vědy. To znamená, že je třeba dát přednost výsledkům výzkumů, které vedou k formulování nových přírodních zákonů. Budeme-li vycházet z tohoto hlediska, potom nejzávažnější vědecké objevy byly v posledních letech učiněny ve fyzice elementárních částic.

A. BALDIN