

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Miloš Šimek

Úvod do radioastronomie

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 3 (1958), No. 6, 698--707

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138055>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1958

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>

# ASTRONOMIE

## ÚVOD DO RADIOASTRONOMIE

MILOŠ ŠIMEK

### Úvod

Naše poznání vesmíru bylo během posledních několika let značně rozšířeno o pozorování rádiovými metodami. Zjistilo se, že mnoho nebeských těles, např. Měsíc, Venuše, Mars, Jupiter, Saturn, plynná atmosféra Slunce, trosky explodujících hvězd, sousední i vzdálené galaxie a mnoho dalších neviditelných nebeských objektů, nesprávně nazývaných rádiové hvězdy, vyzařuje rádiové záření. Studium rádiové emise nám podalo správný obraz struktury naší galaxie. Potvrdilo skutečnost, že Mléčná dráha je dosti těsně stočená spirální galaxie. Sluneční soustava se pohybuje podél vnitřního okraje spirální větve ve vzdálenosti 30000 světelných let od středu rotace tohoto disku, složeného z hvězd a plynů. Některé slabší rádiové zdroje jsou ve větších vzdálenostech, než je maximální dosah dnešních optických teleskopů. A zde se právě naskytá nová možnost měření Dopplerova posuvu rádiové čáry vodíku, zářícího ze vzdálených galaxií. Všeobecně se očekává, že studium tohoto jevu pomůže kosmologům k novým názorům na prostor a čas.

Téměř všechny naše znalosti o vesmíru byly získány z elektromagnetických světelných vln, které dopadají na zemský povrch „oknem v atmosféře“, širokým přes pět oktáv. Radioastronomie nyní využívá druhého okna v atmosféře, širokého 12 oktáv, od délky vlny několika milimetrů, do několika desítek metrů. Kratší rádiové vlny jsou pohlceny atmosférickým kyslíkem a vodní párou, kdežto delší rádiové vlny jsou odraženy ionosférou zpět. Z toho vyplývá, že k radioastronomickým pozorováním se používá stejných frekvencí jako v televizi, frekvenčně modulovaném rozhlasu, mikrovlnných reléových spojích, při kontrole letu a dálkových měřeních umělých družic Země a v radiolokaci.

Podstata světelných a rádiových vln je stejná — liší se pouze délkou. Rádiové vlny jsou tisíckrát delší než světelné. Tato skutečnost má v radioastronomii dva závažné důsledky. První z nich je vzájemné ovlivnění rádiových vln a mezihvězdného plynu, což doplňuje naše poznatky, získané opticky. Velké části vesmíru je možno studovat pouze rádiovými metodami, protože pro značnou absorpci mezihvězdným prachem jsou pro světelné vlny neprostupné. Na druhé straně existují řídké ionisované oblasti plynu, jako je sluneční korona, prostředí obklopující veleobří modré hvězdy a jasné plynné mlhoviny, obklopující všechny hvězdy ve spirálních galaxiích, které jsou prostupné pro světelné vlny, ale odrážejí, absorbují, nebo emitují rádiové vlny. Tak jsou tedy rádiové metody novým a účinným prostředkem ke studiu těchto plynných oblastí. Zároveň je výhodné, že intenzita rádiového záření není kosmickým prachem znatelně ovlivňována. Velkou obtíží radioastronomie je však získání velké úhlové rozlišovací schopnosti. Její dosažitelná mez je

dána, podobně jako u optických teleskopů, vlnovým ohybem. Z toho vyplývá, že rozostření je úměrné vlnové délce a že rádiové vlny se mnohem nesnadněji zaostrují. Jako příklad uvedme, že dnešní nejpřesnější radioteleskopy, pracující na mikrovlnných délkách, mají menší úhlovou rozlišovací schopnost než neozbrojené lidské oko pro světelné vlny. Jestliže bychom chtěli dosáhnout stejné rozlišovací schopnosti, jakou mají optické teleskopy, museli bychom postavit anténní systémy několik set kilometrů velké. Při určování polohy rádiového zdroje, který je jasnější než jeho pozadí, které rovněž vysílá rádiové vlny a jehož tvar známe, může být jeho poloha určena lépe, než je dáno rozlišovací schopností antény.

Refrakční index zemské atmosféry je nehomogenní. Proto je prakticky nemožné dosáhnout optickými teleskopy nejzazší rozlišovací schopnosti. Když je atmosféra do značné výšky klidná, obrazy hvězd jsou stálé a ostré. Jinak nastává mihotání, nebo scintilace hvězd, která je překážkou pozorování i fotografování. Tento problém se vyskytuje také v radioastronomii s několikanásobnými komplikacemi. Na větších vlnových délkách jsou způsobeny ionosférickými zjevy, stáčením polarisovaných rádiových vln a občasnou velkou absorpcí na decimetrových vlnách. V analogii s optikou bude rádiová scintilace nepochybně určovat praktickou mez dosažitelné úhlové rozlišovací schopnosti na všech vlnových délkách, používaných v radioastronomii.

Z výše uvedených důvodů a dále proto, že viditelné hvězdy jsou poměrně slabé rádiové zdroje, rádiové dalekohledy vlastně ukazují bezprašný a bezhvězdný vesmír, vyplněný hlavně turbulentními neviditelnými mraky.

### Počátky

Zdá se, že první, kdo se pokusil měřit záření mimozemských zdrojů na rádiových vlnách, byl Oliver Lodge. Ve své přednášce, 1. června 1894, v Královské společnosti pro popularisaci vědy ve Velké Británii, prohlásil: „Věřím v pokus dlouhovlnného rádiového záření ze Slunce, odfiltrováním dobře známých vln černou deskou, nebo dostatečně neprůsvitnou látkou.“ Během let 1897—1900 zřejmě tento pokus udělal, protože ve třetím vydání této přednášky je poznámka. „Neměl jsem úspěch, protože citlivý koherer, který byl umístěn ve venkovní kůlně, nechráněné silnými zemi důkladné budovy, nemohl být delší dobu v klidu. Shledal jsem, že světelná stopa galvanometru je náchylná k častým slabým a občasně prudkým výchylkám a nemohl jsem na žádné z nich bezpečně rozeznat vlivy slunečního záření. Bylo zde zjevně příliš mnoho pozemských zdrojů poruch v takovém městě jako je Liverpool, než aby se pokus mohl zdařit. Nevím, zda by to nemohlo být úspěšné v nějakém izolovaném místě města, ale zřejmě je nutné mnohem citlivější zařízení.“ Southworth v roce 1942 první detekoval a měřil rádiové vlny ze Slunce, které měl Lodge svého času na mysli.

První objev rádiových vln mimozemského původu udělal Jansky v roce 1932. V laboratořích Bell Telephone studoval horizontální směr příchodu atmosférických rádiových poruch (atmosferiků) na frekvenci 20 MHz (vlnová délka 14,6 m). Pověšil si velmi slabého nepřetržitého syčení neznámého původu. Směr příchodu těchto neznámých poruch se pohyboval podél kružnice a asi za 24 hodin se vracel na původní místo. Později studium ukázalo, že periodičita zjevu odpovídá hvězdnému času, že tedy zdroj nebude ve Slunci,

ale někde jinde. Skutečně se potvrdilo, že signál byl nejsilnější, když anténní svazek mířil ke středu Mléčné dráhy. Druhé maximum se ukázalo, když anténní diagram mířil do oblastí poněkud vzdálených od středu naší Galaxie.

Jansky měl dvě myšlenky jak vysvětlit tento jev. Za prvé se domníval, že nejlepší vysvětlení by bylo takřka diskové rozložení rádiových zdrojů kolem Země, podobné diskovému rozložení optických hvězd. V pozdějším článku napsal, že jelikož se mu nepodařilo zachytit rádiové záření Slunce, předpokládá existenci nějakých jiných druhů nebeských těles v Mléčné dráze, která musí mít mnohem větší poměr vyzářené energie v oboru rádiových vln vzhledem ke světelné a tepelné energii. Za druhé byl překvapen podobností zvuku vznikajícího při detekci galaktického záření a šumu odporu, zahřátého na jistou teplotu. Proto předpokládal, že záření by mohlo být způsobeno stejným druhem tepelného vybuzení nabitých částic. To by bylo možné nejen ve hvězdách, ale také ve velkém množství mezihvězdné hmoty, rozložené po celé Mléčné dráze, která má efektivní teplotu asi 15 000 °C. Pozdější pozorování velkou měrou potvrdila tyto domněnky.

Později Reber v Illinois měřil rozložení tohoto kosmického záření na vyšších frekvencích okolo 160 MHz s ostře směřovanou anténou. Nalezl jednotlivá vedlejší maxima, jedno v souhvězdí Labutě. Intenzita rádiového záření na této vyšší frekvenci byla mnohem menší, než určil Jansky na 20 MHz. Reber usoudil, že záření vzniká tepelně při srážkách volných elektronů a kladných iontů (přechodem volný — volný) v mezihvězdné hmotě ionisované světlem hvězd. Teorie tohoto způsobu záření byla prvně uveřejněna Kramerem k vysvětlení spojitého spektra paprsků X a je fyzikálně ekvivalentní Lorenzově absorpční teorii, užívané v ionosférickém šíření rádiových vln.

Počátkem r. 1946 Hey, Parsons a Phillips v Anglii našli krátkoperiodické nepravidelné změny intensity na 64 MHz (vlnová délka 5 m) ve směru téhož vedlejšího maxima v Labuti. Jejich pozorování ukázala, že fluktuující zdroj má menší úhlový rozměr než 2 stupně. Zjistilo se, že takové fluktuace by mohl způsobit pouze malý diskrétní zdroj a ne značně rozložená mezihvězdná hmota. Přesto, že mylně přisuzovali fluktuace vlastnímu zdroji (ve skutečnosti vznikají následkem turbulentních nehomogenit v atmosféře), ukázali na jejich význam. Pozdější pozorování Boltona a Stanleje potvrdila existenci diskrétního rádiového zdroje. Změřili, že jeho rozměr je menší než 8 obloukových minut. Asi 20 zdrojů bylo identifikováno opticky. Mezi nimi jsou jak dobře známá nebeská tělesa, tak i objekty, doposud radioastronomii neznámé. Předpověď Janského, že existují nebeská tělesa, u kterých je rádiová energie relativně k jejich vyzářené světelné energii mnohem větší než u Slunce, byla potvrzena. Zdroj v Labuti je v tomto ohledu o 18 řádů lepší vysílač než Slunce. Dnes se domníváme, že velká část rádiové emise z Mléčné dráhy má svůj původ v diskrétních rádiových zdrojích, rozložených stejně diskovitě jako hvězdy. Jistá část rádiového záření, která je poměrně intenzivnější v mikrovlnné oblasti, vzniká tepelně ze srážek elektronů s kladnými ionty v mezihvězdných oblacích plynu.

První skutečné pozorování rádiových vln ze Slunce provedl v roce 1942 Hey v Anglii a nezávisle na něm Southworth v New Jersey. Oba napsali o svých pozorováních zprávy, které publikovali až po válce. Později identifikoval sluneční rádiové záření na 160 MHz Reber.

Southworth použil ke svému pokusu radarového přijímače a paraboloidu. 29. června se mu podařilo zaznamenat rádiové záření Slunce na frekvenci

10 000 MHz a o něco později na 3000 MHz. Jeho závěr, že tato emise je termického původu, byl správný. Tímto pozorováním začalo studium „klidného“ Slunce. Nyní bude popsán objev rádiových vzplanutí jako druhé hlavní části sluneční rádiové emise.

Bylo jistě více nepublikovaných pozorování vysoké šumové hladiny ve spojení s vymizením rádiového příjmu. První zprávu o tom napsal v r. 1936 Arakawa, když řekl, že „vysoký šum doprovází tyto náhlé úniky v pásmu 4–20 MHz. Zjev musí mít souvislost se sluneční činností, protože se vyskytuje pouze v denní době.“ O dva roky později napsal Heigman: „V této době (když nastane slábnutí rádiového příjmu), registrační přístroj zachytil zvláštní záření převážně na vyšších frekvencích než 20 MHz, které mělo v reproduktoru formu tónu. Je pravděpodobné, že je způsobeno příchodem nabitých částic ze Slunce na anténu.“

V těchto letech studovali vědci vzájemný vztah krátkovlnných rádiových vymizení příjmu se slunečními chromosférickými erupcemi, pozemskými magnetickými poruchami, zvýšenými atmosféricky a nenadálými vzrůsty šumové hladiny. Nejméně pozornosti bylo věnováno otázce původu tohoto zvýšení šumu. Nakagami a Miya v Japonsku v roce 1939 měřili na 15 MHz šumovou hladinu a zjistili, že během úniku byla o 40 db vyšší. Pozorovali, že tento šum se vyskytoval pouze během dne a že směr jeho příchodu byl z větších výšek nad obzorem. Nepovšimli si však významu stejné výšky Slunce. Rozhodli, že tento šum pravděpodobně vzniká ve vrstvě *E* ionosféry nebo v její blízkosti.

Ve dnech 26.—28. února 1942 byl větší počet radarů britské armády pracujících na frekvencích 55–80 MHz silně rušen. Tento úkaz studoval Hey. Zjistil, že směr příchodu šumu byl od Slunce a že během této doby byla na slunečním disku velká skupina skvrn. Hey usoudil, že je těžko si představit jiné vysvětlení tohoto rušení, než že pochází ze Slunce ve spojení s jeho aktivitou.

V lednu 1946 publikoval Hey v *Nature* dopis, krátce popisující událost z roku 1942 a v poznámce popisuje Strattonovi sluneční erupci a geomagnetické zjevy spojené se sluneční činností. Appleton a Hey zdůraznili, že tento šum byl mnohokrát mocnější než bylo očekáváno od Slunce, vyznařujícího jako černé těleso. Vztah mezi intenzitou slunečního rádiového šumu a aktivitou sluneční skvrny odvodil Pawsey, Payne-Scott a McCready v Sydney v r. 1946.

Ryle a Vonberg v Anglii první publikovali interferometrická měření rozměru oblastí rádiové emise. Použili dvou antén vzdálených o 140 vlnových délek, takže vznikla několikaloková charakteristika. Tato metoda je analogická Michelsonovým měřením průměrů hvězd. Změřili, že jeden emitující zdroj na Slunci byl menší než 10 obloukových minut, tedy méně než 1/3 průměru Slunce. Zároveň s nimi v r. 1946 dělali podobná měření McCready, Pawsey a Paine-Scott. Použili pobřežního interferometru utvořeného jednou anténou, položenou 86 m nad mořem a využívající odraženého paprsku k vytvoření vícelokové charakteristiky s velkým elevačním úhlem, analogicky s Lloydovým zrcadlovým interferometrem.

Polarisace rádiové emise z oblastí slunečních skvrn byla prvně zjištěna jako kruhová polarisace během června 1946. Pozorování byla prováděna třemi nezávislými skupinami v Anglii a Australii.

Od té doby byly obě složky rádiového záření Slunce, totiž základní tepelná složka a intenzivní vzplanutí aktivního Slunce netepelného původu, podrobeny důkladnému studiu na různých frekvencích od několika MHz do několika set tisíc MHz.

### Největší z ostatních výzkumných objevů

V roce 1946 a 1947 Hey a Stewart v Anglii první použili radarového zařízení ke studiu meteorů. Společně s Parsonem postavili první radar měřící meteorické rychlosti.

Dicke a Beringer v r. 1945 poprvé změřili tepelnou rádiovou emisi Měsíce. Užili ostrého mikrovlnného radiometru na frekvenci 24 000 MHz, který byl vybudován v *M. I. T. Radiation Laboratory*, za účelem měření termických mikrovln atmosférického kyslíku a vodních par. Piddington a Minnett v Sydney udělali první serii pozorování měsíční emise v různých fázích v r. 1949.

Radarové odrazy od Měsíce se podařilo zachytit v r. 1946. Stalo se tak v *U. S. Army Signal Corps Laboratory* na 111,5 MHz a o něco později dosáhl stejného úspěchu Bay v Maďarsku na 120 MHz, užitím nového elektrochemického integrátoru.

Vynikající objev udělal v r. 1951 Ewen a Purcell na Harvardské universitě. Odhalil emisní čáru na frekvenci 1420 MHz (vlnová délka 21 cm), na které vyzářuje atmosférický vodík v základním stavu, který se vyskytuje ve velké míře jako plyn ve spirálních větvích Mléčné dráhy. Tentó objev brzy potvrdil Christiansen a Hindman v Sydney.

Možnost, že tato spektrální čáry by mohla být zachycena z Galaxie, ukázal van de Hulst v Leydenu (1944). Tato myšlenka byla podnícena Reberovým článkem v *Astrophysical Journal*. Atomický vodík v základním stavu tvoří hlavní část mezihvězdné hmoty a jeho existence se nedá zjistit optickými metodami. Bylo možno zhotovit rádiový měřič rychlostí zářících plynných hmot pomocí Dopplerova posuvu. To by byla neobyčejně cenná měření. V r. 1955 Lilley a McClain v *U. S. Naval Research Laboratory* oznámili „rudý posuv“ vzdáleného rádiového zdroje při pozorování vodíkové čáry 1420 MHz. Změřili Dopplerův posuv o 80 MHz, což ukazuje posun ve směru od nás o 16830 km/s. Toto souhlasí s výsledky optických pozorování.

Nečekaný objev udělali v r. 1955 Burke a Franklin, když odhalili vzplanutí rádiového záření planety Jupitera na 22 MHz. Když se to dozvěděl Shain v Sydney, oznámil, že na záznamech galaktického záření na 18 MHz z r. 1950 našel vzplanutí, která mohl přisoudit Jupiteru.

V letech 1956 a 1957 Mayer, McCullough a Sloanacker detekovali mikrovlnné záření na frekvenci 10000 MHz z Venuše, Jupitera a Marsu a částečně polarisované záření z Krabí mlhoviny. V roce 1956 Kraus v *Ohio State University* oznámil příjem vzplanutí z Venuše na 27 MHz, které bylo stejného druhu jako vzplanutí Jupitera. Od té doby jsou pokusy ostatních o potvrzení tohoto záření bezúspěšné. V r. 1957 Drake a Ewen v Harvardu potvrdili příjem termického záření Jupitera na 8000 MHz a změřili poprvé rádiovou emisi Saturna. Na jaře 1957 byla viditelná pouhým okem jasná kometa, označená Arend-Roland 1956 h. Mnoho radioastronomů očekávalo příjem její rádiové emise, ale většina pokusů byla neúspěšná. Přece však vědci v Belgii na 600 MHz a v Bonnu v NSR na 1420 MHz se domnívali, že měli určitý úspěch.

## Důležitost radioastronomie v technice

Historie jasně ukazuje, že naše technika a technický pokrok stále více závisí na výsledcích bádání. Jejich rozvoj byl poháněn lidskou zvědavostí dozvědět se co nejvíce o přírodě a našem fyzikálním světě. Všeobecně známým příkladem je technologie nukleární síly, která je založena na výsledcích více než padesátiletého bádání v čistě fyzice. Dnes není možno předpovědět, zda nevznikne nové pole techniky z výsledků radioastronomického bádání, ale již známe několik aplikací.

V r. 1943 Southwort podal žádost o patent, který mu byl později přidělen. Šlo o metodu umělého pohledu pro snímání terénu při zataženém počasí, pro lokalizování předmětů, jejich identifikaci a pod., využívající odražených rádiových vln vyzařovaných Sluncem.

Pro navigaci a orientaci lodí za každého počasí je důležité využít rádiového záření Slunce. Byl proto vyvinut radiosextant pro celodenní sledování Slunce. Tento přístroj využívá záření Slunce na vlnové délce okolo 1 cm. Může ho být využito k řízení střelby. Pokusný vzor byl zkoušen v *U. S. Navy* před několika lety. Pracuje i za velké oblačnosti s přesností o něco lepší než jaká může být dosažena za jasného počasí se standardním optickým sextantem. Až se podaří vyrobit přístroje s větší citlivostí, které budou moci být řízeny zářením kosmických rádiových zdrojů, bude možno používat radiosextantu po dobu 24 hodin.

Když byly postaveny antény s velkým ziskem a citlivé nízkošumové přijímače, bylo možno používat rádiových zdrojů pro kalibraci antén přijímačů. Mohou být navrženy speciální malé antény pracující na mikrovlnách, které mohou být zakončením přenosových linek s ekvivalentní šumovou teplotou, blízkou absolutní nule. Využitím jasnějších rádiových zdrojů s většími anténami se známým ziskem je možno určit absolutní zvětšení šumové hladiny pro mezinárodní standardisaci. Na druhé straně může být měřen anténní zisk použitím kalibrovaného přijímače nebo použitím antény se standardním ziskem a kalibrovaným atenuátorem s nekalibrovaným přijímačem. V současné době je známa absolutní hodnota toku na zemském povrchu z jasnějších rádiových zdrojů s přesností kolem 20–50%. Slunce a rádiové zdroje jsou hojně používány radioastronomy k měření relativních charakteristik antén. Na metrových vlnových délkách je sluneční energie velmi proměnlivá a hladina záření galaktického pozadí je hodně nad absolutní nulou. Proto platí to, co bylo řečeno, hlavně pro centimetrové vlnové délky. Na milimetrových vlnových délkách je poměr signálu k šumu malý. Je zde též nepříjemná atmosférická absorpce přesto, že záření ze Slunce a Měsíce lze v tomto frekvenčním intervalu poměrně snadno zachytit.

Mimozemských rádiových zdrojů lze využít pro kalibraci směru, kam míří anténní svazky citlivých radarů, po patřičné korekci na totální refrakci v zemské atmosféře. Velmi důležité je určení této totální refrakce rádiových vln z rádiového zdroje, nebo po odražení rádiových vln od Měsíce. Tu můžeme určit pomocí kalibrovaného anténního systému nebo interferometru. Znalost totální refrakce na různých frekvencích je důležitá v rádiovém přenosu a příjmu, pro kontrolu a navádění vysokolétajících předmětů, umělých družic a pod.

Současné výsledky radioastronomie dávají s dosti dobrým odhadem hladiny minimálního rádiového šumu, které mohou být očekávány na Zemi v různých částech radioastronomického spektra. Závislost přirozeně vznikajícího šumu

na frekvenčním pásmu je vytvářena na Zemi, v její atmosféře, Slunci, Mléčné dráze, nebo v různých diskretních rádiových zdrojích. Méně přesný odhad může být učiněn z občasných velkých vzrůstů šumové hladiny, které jsou způsobeny rádiovými vzplanutími Slunce, Jupitera a snad i Venuše a Saturna. Při dnešním stavu radioastronomie, kdy jsou k dispozici velké antény a nízkošumové přijímače, používané k nejrůznějším aplikacím, je velmi důležité znát pravděpodobnost výskytu rádiových vzplanutí a zároveň i hodnotu úrovně stálého záření pozadí z rozličných astronomických těles.

Studium slunečního rádiového záření je velmi důležité pro předpovídání podmínek pro šíření rádiových vln v ionosféře. Jak bylo řečeno v úvodu, je jistá závislost mezi vzrůstajícím rádiovým zářením ze Slunce, náhlými ionosférickými poruchami a rádiovým únikem. Dnes není ještě možno předpovídat výskyt chromosférických erupcí nebo rádiového úniku. Nejnovější objevy ukazují, že z charakteru a trvání rádiových slunečních vzplanutí s ohledem k chromosférickým erupcím je možno předpovědět, zda bude či nebude v několika dnech následovat geomagnetická bouře. Tyto bouře jsou spojeny se změnami zemních proudů, polárními zářeními a mimořádnými ionosférickými jevy, zvanými ionosférické bouře, které mohou vážně porušit rádiová spojení, zvláště na dlouhé vzdálenosti. Mohou trvat poměrně dlouho, proto je nutná jejich včasná předpověď.

Změny sluneční činnosti ze dne na den působí na hustotu iontů ve všech vrstvách ionosféry a určují tedy výběr nejvhodnější frekvence pro spojení, která využívá ionosférického šíření rádiových vln. Dnes je nejběžněji používaným ukazatelem sluneční činnosti relativní číslo, nebo plocha slunečních skvrn. Ukazuje se však, že denní hladina rádiového toku kolem 3000 MHz odpovídá velmi úzce ploše slunečních skvrn. Bude proto pravděpodobně lepší používat ji pro některé aplikace než používat relativního čísla. Např. v r. 1957 Denisse a Kundu našli těsný a lineární vztah mezi slunečním zářením na 3000 MHz a ionisujícím tokem vrstvy *E*. Korelace je lepší než když se použije místo rádiového slunečního toku slunečních skvrn.

### Příspěvek radioastronomie v technice přístrojů

Po stránce instrumentální radioastronomie vyvinuli speciální anténu a přijímací systémy. Hanbury Brown a Twiss navrhli nový typ rádiového a optického interferometru pro měření průměrů rádiových zdrojů, nebo v optické analogii hvězd. Jejich přístroj nezávisle detekuje signály ze dvou vzdálených antén nebo optických teleskopů a potom vzájemně srovnává jejich nízkofrekvenční výstup. Celý systém je proveden tak, aby byl značně nezávislý na kvalitě atmosférického a ionosférického přenosu. To je možné proto, že relativní fáze se ztrácí a je měřena pouze korelace ve změnách jejich intenzit. Toto je zásadně odlišné od známého Michelsonova interferometru. Brownův interferometr může být použit i při velmi značné vzdálenosti mezi anténami. Změřili optický průměr Siria na hodnotu  $0,0068 \pm 0,0005$  obloukových vteřin, v dobré shodě s astronomickým odhadem. Tento interferometr má dva nedostatky. Vyžaduje dobrý poměr signálu k šumu a za druhé, může být použit pouze u jasnějších objektů. Jelikož se informace o fázi ztrácí, nemůže být použit k určení asymetrické složky v rozložení jasu podél měřeného objektu.

Mnoho různých a účinných technik se zabývalo měřením velikosti, polohy, jasnosti rádiového spektra a rozložení polarisace rádiových zdrojů na obloze a na Slunci. Radioastronomie dala podnět k návrhu a konstrukci mnoha vel-



kých a vysoce citlivých reflektorových antén. Jedna z prvních antén s velkým ziskem je přesný paraboloid v *U. S. Naval Research Laboratory*, který má průměr přes 15 m. Největší na světě je známá pohyblivá anténa v Manchesteru v Anglii; její průměr je 76 m.

Přijímače s malým šumem byly vyvinuty pro nejrůznější účely. Speciálně v radioastronomii může být vyvinuta velká stabilita zisku přijímače, šířky pásma a šumového čísla, protože je možno získat větší citlivost integrací s velkou časovou konstantou na výstupu přijímače. Příklad dobré radioastronomické stability oznámil nedávno Drake a Ewen. Jejich 8000 MHz přijímač má hodinovou rychlost změny šumové úrovně ekvivalentní změně teploty antény o 0.1 °K.

Traxler oznámil přenos a příjem hlasem modulovaného 2000 MHz signálu odraženého od Měsíce bez patrné změny věrnosti. Haddock potvrzuje, že nemohl objevit žádné změny v kvalitě přenášeného hlasu po jeho letu na Měsíc a zpět, zaznamenaném na magnetofonovém pásku. Přece však během záznamu byla vysoká hladina šumového pozadí a nebylo snadné posoudit věrnost. Vyhledka na využívání Měsíce pro rozhlasové, televizní a jiné účely není radioastronomy nijak vítána, neboť by mohli svá pozorování nerušeně konat pouze za bezměsíčných nocí podobně jako astronomové, pracující ve vizuálním oboru.

### Přehled současné radioastronomie

Není možno podat vyčerpávající přehled všech prací, které se týkají radioastronomie, proto si všimneme pouze hlavních přístrojů, jejich výsledků a teorií. Ashton navrhl 44-metrový říditelný radioteleskop, který bude postaven během několika let. Ačkoli není tak veliký jako 76-metrový paraboloid v Manchesteru, bude pracovat na řádově 10krát kratších vlnových délkách. Byl vyvinut radiometr, který může detekovat změny hladiny šumu na vstupu i několika setin °K. Strum usuzuje, že bude možno dosáhnout nízkého šumového čísla přijímače, které nebude značně vzrústat s frekvencí od 10 do 50 nebo 100 KMHz. Toto je velmi nadějný výhled do budoucnosti.

Mills postavil velkou složenou anténu s umělým kuželovým svazkem, která pracuje na vlnové délce 3.5 m a je nazývána Millsův kříž. Přijímací systém této antény má efektivní šířku svazku menší než 1° a používá se ho k doplňování největšího katalogu rádiových zdrojů.

Pro pozorování dynamického spektra slunečních vzplanutí byly postaveny složité dynamické spektrografy, které pracují na frekvencích 100 až 600 MHz. První dynamický radiospektrograf vznikl v Australii, kde Wild se spolupracovníky postavil přístroj pro frekvence 40 až 240 MHz. Výsledky tohoto pozorování jsou velkým přínosem v porovnání se záznamy slunečního rádiového záření na několika jednotlivých frekvencích. Podstata rádiového spektrografu tkví v tom, že přijímač rychle přejíždí přes frekvenční pásmo každou 0,3 sec a výstup je zobrazen jako intenzitně modulovaná křivka na obrazovce. Stínítko obrazovky je fotografováno na pohybující se 35 mm film, na kterém vzniká záznam se souřadnicemi frekvence — čas. Měřená sluneční intenzita je na filmu vyjádřena rozličnou jasností.

Během některých slunečních zatmění byl pozorován zajímavý zjev — zvětšení celkového rádiového záření Slunce v pásmu decimetrových a metrových vln v okolí prvního a posledního kontaktu. Link vysvětluje tento úkaz ohybem rádiových vln v měsíční atmosféře. Touto cestou byla dokázána a určena hustota atmosféry Měsíce.

Doddsonová našla jisté korelace mezi slunečními erupcemi a rádiovými vzplanutími, ionosférickými poruchami a geomagnetickými bouřemi. Cenným objevem je popsání rádiového jevu při optických erupcích, po kterých mohou následovat během několika dní geomagnetické bouře.

Sluneční korona díky své vysoké teplotě může být považována za plasma — vysoce ionisovaný plyn, makroskopicky kvasineutrální. Takovéto plasma se může stát podle Šklovského a Martina zdrojem rádiového záření. Elektrony, které jsou v plasmatu a dostanou se jakýmkoli způsobem do kmitání, budou dále kmitat kolem své střední polohy.

Bylo postaveno několik přístrojů měřících polarisaci charakteristiky sluneční rádiové emise. Polarimetry na mikrovlnných délkách se hodně zabývají v Japonsku.

Alfvén a Herlofson podali teorii, vysvětlující vznik tzv. druhé, proměnné složky galaktického rádiového záření. Podle nich vzniká rádiové záření zářením relativistických protonů při zabrzdování v mezihvězdných magnetických polích. Později rozebíral tento problém sovětský vědec Ginzburg. Použil rovnice pro záření vznikající zabrzdováním relativistických částic v magnetických polích, které odvodili Pomerančuk, Arcimovič a Vladimírskij. Ginzburg dokázal, že je-li koncentrace relativistických protonů v mezihvězdném prostoru stejná jako koncentrace relativistických protonů v prvotních kosmických paprscích, pak při intenzitě mezihvězdných magnetických polí  $H \approx 10^{-4}$  G je možno úplně vysvětlit pozorovanou intenzitu galaktického záření. Getmancev ukázal, že požadované spektrální složení rádiového záření za předpokladu, že vzniká výše uvedeným mechanismem, odpovídá pozorovanému. Studium tohoto zjevu se později zabýval Pikelněr. Dokázal, že magnetická pole nejsou jen v oblacích mezihvězdného plynu, nýbrž i ve velmi zředěném mezioblačném prostředí. Při tom intenzita těchto polí je přibližně stejná jako v oblacích. Toto zjištění velmi podporuje tzv. elektromagnetickou teorii vzniku galaktického rádiového záření.

Šklovskij ukázal, že podobně jako vodík na vlnové délce 21 cm mohou být zdrojem monochromatického záření i molekuly CN, CH, OH. Jejich množství v mezihvězdném prostoru je 10 milionkrát menší než počet mezihvězdných atomů vodíku. Proto by jejich záření bylo velmi slabé. Teoretická vlnová délka pro molekulu OH je 18.3 cm, pro molekulu CH 9.45 cm. Doposud se tento teoretický předpoklad nepodařilo potvrdit experimentálně.

Marshall podal teorii galaktické rádiové emise, která obsahuje synchrotronovou emisi mezihvězdných elektronů s velkou energií, které jsou vychylovány galaktickým magnetickým polem.

Teoretická práce Fieldova ukazuje na rozličné způsoby, kterými může být ovlivněna excitační tepelná vodíková čára. Zajímal se o možnost detekování velmi zředěného vodíkového plynu v oblasti mezi vnějšími galaxiemi, což je velmi důležitý kosmologický problém.

Jedním z nejzajímavějších rádiových objektů je Krabí mlhovina v souhvězdí Býka. Tato mlhovina je pravděpodobně výsledkem obrovské kosmické katastrofy — vzplanutí supernovy, které nastalo podle čínských záznamů v roce 1054. Jejím studiem se zabývali Baade, Minkowski, Šklovskij, Ginzburg, Vitkevič, Piddington, Dombrovskij a jiní.

Yaplee zjistil, že měsíční odraz nastává od ohraničené střední oblasti Měsíce. Spolu s ostatními se pokoušel změřit přesnou vzdálenost Měsíce

radiolokačním způsobem. Užili cesiových hodin, aby dostali spolehlivou kontrolu frekvence a vzdálenost změřili s nejistotou 150—500 m.

Booker uveřejnil práci o scintilaci rádiového zdroje, která se projevuje na metrových vlnových délkách a podává teoreticky rozbor pozorování. Lawrence a Penfield popisují výzkum fáze a amplitudy scintilací rádiových zdrojů způsobených ionosférou.

### Závěr

Radioastronomie se jako věda velmi rychle rozvíjí. Její obor je tak široký, že jsme se nemohli zdaleka seznámit se všemi problémy a objevy. Její rozvoj je podmíněn rozvojem techniky; dnes se staví velmi složité přístroje velkých rozměrů. Jaký bude stav světové radioastronomie za deset let?

### Použitá literatura

- Haddock, *Proceedings of the IRE* 1958, č. 1.  
Шкловский, *Astr. žurnal*, sv. XXX (1953), č. 1.  
Шкловский, *Kosmické radioizlučenie*, Moskva 1956.  
Гурздян, *Radioastrofysika*, Jerevan 1956.