

Radioastronomie

Petr Kulhánek

Elektromagnetické záření je nejbohatším zdrojem informací o blízkém i vzdáleném vesmíru. Naše atmosféra dobře propouští jen některé oblasti spektra: viditelné světlo, několik úzkých oken v infračerveném záření a široké okno v radiových vlnách. Není proto divu, že se radioastronomie stala prvním odvětvím astronomie, které využívá jiný než optický obor.

Radiový obor

Radiový obor sousedí v krátkovlnné oblasti s infračerveným zářením, kde začíná extrémně krátkými vlnami s označením *EHF* (*Extra High Frequency*) s rozsahem vlnových délek od 1 mm do 1 cm (30–300 GHz). Poslední pojmenovaná část radiových vln končí extrémně dlouhými vlnami *ELF* (*Extra Low Frequency*) s vlnovými délkami od 10000 km do 100000 km (3–30 Hz). V přírodě ovšem existují i radiovlny větších vlnových délek. Krátkovlnnou část radiových vln – 1 mm až 15 cm – většinou nazýváme *mikrovlny*. Atmosféra je propouští jen zčásti.

Označování jednotlivých pásem radiovln je velmi nejednotné, existuje řada standardů (IEEE, ITU, NATO, RSGB). Veřejnosti je nejvíce povědomý jedenáctipásmový standard ITU, ze kterého pochází známé zkratky *MF* (*Medium Frequency, střední vlny*), *VHF* (*Very High Frequency, velmi krátké vlny*), *UHF* (*Ultra High Frequency, ultra krátké vlny*) atd. Jako příklad nejednoznačnosti různých standardů uvedme krátkovlnné pásmo K (označení pochází z německého *Kurz* – krátký), kterému v klasifikaci IEEE náleží frekvence 18 až 27 GHz a v klasifikaci NATO 20 až 40 GHz. Aby situace nebyla jednoduchá, používá se stejné označení K i pro úzké infračervené okno v okolí vlnové délky 2,2 μm . Jednotná

není ani samotná hranice mezi infračervenou a mikrovlnnou oblastí, striktně není definována ani poloha dlouhovlnného konce mikrovln. Omezme se proto jen na konstatování, že za radiovlny budeme považovat elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou delší než 1 milimetr a část od 1 mm do 15 cm budeme v tomto článku nazývat mikrovlny.

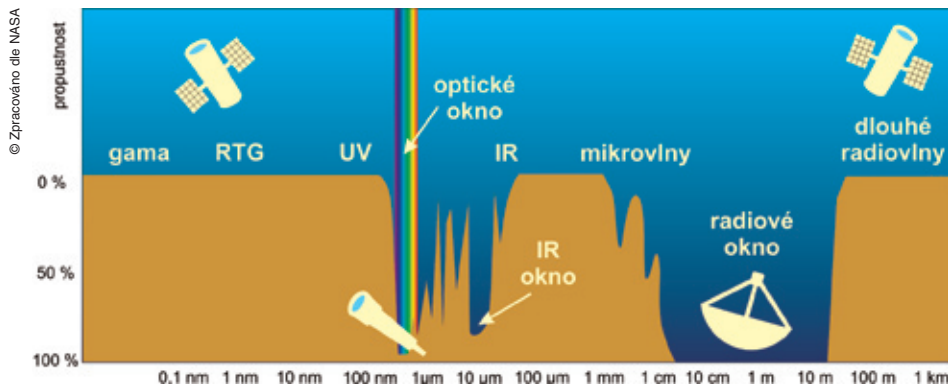
Aktivní využívání radiových vln lidstvem s sebou nese zajímavý vedlejší jev. Některé vlny procházejí atmosférou a zaplavují okolní vesmír v podobě radiové bubliny, v jejímž středu se nachází Země. Uniklé radiové signály s sebou nesou mnoho informací o naší společnosti a zejména počátek televizního vysílání se projevil intenzivním radiovým tokem ze Země do vesmíru. Dnes má naše radiová bublina rozměr přibližně sto světelných roků a nachází se v ní řádově tisíc hvězd.

Zrod radioastronomie

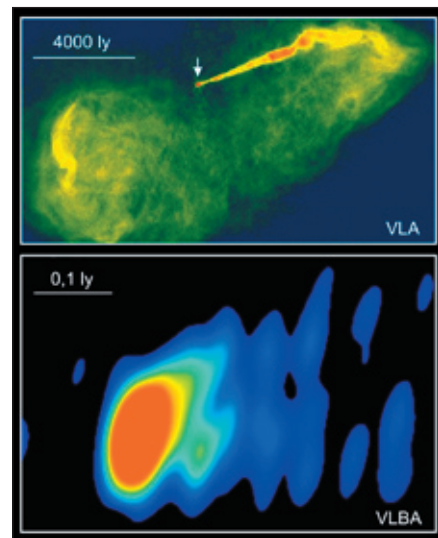
Počátky radioastronomie jsou nerozlučně spojeny se jménem amerického radioinženýra *Karla Janskeho* (1905–1950), který měl české předky z otcovy strany. Jansky byl zaměstnancem Bellových telefonních laboratoří v Holmdelu (New Jersey). Zde se podílel na řešení problémů transatlantické telefonie na vlnových délkách 10 až 20 metrů. Hledal příčinu praskání, které narušovalo hovory ze zámoří. Při ře-

šení zadané úlohy navrhl v roce 1929 speciální anténu, jejíž konstrukci dokončil v roce 1931. Anténa byla otočná, měla průměr přibližně 30 metrů, výšku 6 metrů a umožňovala příjem radiových vln s vlnovou délkou 14,6 metru (s frekvencí 20,5 MHz). Část poruch vznikala bouřkovou činností. Jansky ale našel v roce 1932 i pravidelně se opakující signál, o kterém se nejprve domníval, že pochází ze Slunce. Jeho perioda 23 h 56 min 4 s byla nicméně spojena s periodicitou zdánlivého pohybu hvězd, a tak po roce pečlivého měření Jansky zjistil, že signál pochází ze souhvězdí Štřelce, z centra naší Galaxie. Šlo o první radiový signál zaznamenaný z mimozemského zdroje. Jansky objevil publikoval v roce 1933. V tom okamžiku se zrodila radioastronomie.

Jansky se stal prvním radioastronomem, ale paradoxně se radioastronomií dále nezabýval. Zemřel velmi mladý, ve věku 44 let, což



Propustnost atmosféry. Optické okno je ve vlnových délkách 400–750 nm. Největší okno v infračerveném oboru je v oblasti 8–14 μm . Radiové vlny atmosféra propouští v okně s vlnovým rozsahem 1 cm až 10 m.



Výtrysk z černé díry v centru galaxie M 87. Nahoře snímek z VLA. Počátek výtrysku označený šipkou je detailně zobrazen dole na snímku z VLBA.

Prof. RNDr. Petr Kulhánek, CSc. (*1959) vystudoval MFF UK, obor teoretická fyzika. V současné době se zabývá fyzikou plazmatu na katedře fyziky FEL ČVUT.

je pravděpodobně příčinou toho, že za svůj objev nezískal Nobelovu cenu. Na jeho počest je pojmenována jednotka radiového toku *jansky*, $1 \text{ Jy} = 10^{-16} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$. V roce 1963 byla v Bellových laboratořích vyrobena replika slavné Janskeho antény a v roce 1966 byla vztčena jako památník v západní Virginii na observatoři NRAO (National Radio Astronomy Observatory) v Green Banku.

Období prvních antén a prvních velkých objevů

Reberova radiová mapa oblohy

Mužem číslo dvě v dějinách radioastronomie se stal americký amatérský astronom *Grote Reber* (1911–2002). Pokračoval ve výzkumech Janskeho a v roce 1937 zkonstruoval na dvorku svého obydlí ve Wheatonu ve státě Illinois první radioteleskop s parabolickou anténou, která se podobala zrcadlům optických přístrojů. Průměr kovové antény byl 9 metrů a ohnisková vzdálenost 8 metrů. V prvním roce konal systematickou prohlídku oblohy na frekvencích 3,3 GHz, 900 MHz a 160 MHz. Až na nejnižší frekvenci se mu podařilo zachytit mimozemské signály a v roce 1938 nezávisle potvrdit Janskeho objev radiových vln přicházejících z centra Galaxie. V roce 1941 dokončil první systematickou radiovou mapu oblohy, na které byla jako radiový zdroj uvedena i Velká mlhovina v Andromedě. V té době se ještě nevědělo, že jde o galaxii daleko za hranicemi Mléčné dráhy.

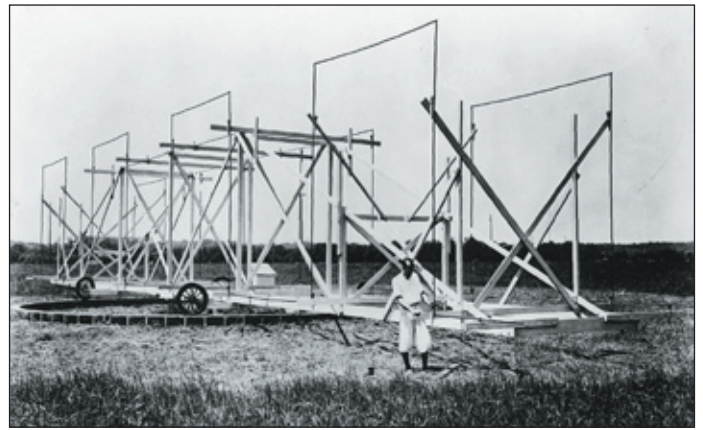
A jaké byly další osudy Grote Rebera? V roce 1954 se odstěhoval z USA na ostrov Tasmánie, který se nachází na jižním pobřeží

Austrálie, kde pokračoval v radioastronomických výzkumech na Tasmánské univerzitě. Zkoumal zejména radiové signály z ionosféry za pomoci pole dipólových antén. V den úmrtí mu chyběly pouhé dva dny do 91. narozenin. Po Reberovi je pojmenována planetka 6886 *Grote*. Na jeho počest je každoročně udělována zlatá Reberova medaile za celoživotní přínos k radioastronomii. Replika Reberovy antény je umístěna na observatoři NRAO v Green Banku, stejně tak jako replika Janskeho antény.

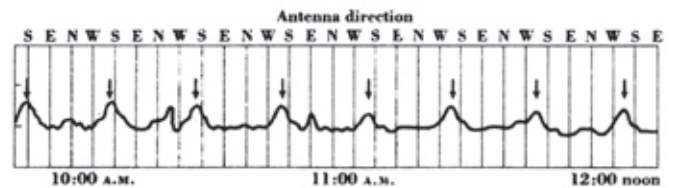
Signál ze Slunce

V období, kdy zuřila druhá světová válka, byl povolán k armádě anglický středoškolský učitel *James Hey* (1909–2000). Sloužil u protiletadlového radaru (s frekvencí 60 MHz) na jižním pobřeží Anglie. V roce 1942 dostal za úkol prozkoumat signál, o němž se nadřízení domnívali, že jde o německé pokusy rušení protiletadlové obrany. Na monitoru radaru se občas rozsvítilo mnoho bodů a obraz připomínal vánoční stromeček. Na takovém pozadí nebylo možné rozlišit nepřátelské bombardéry. Hey si povšimnul, že rušivá interference přichází po ránu z východu, v poledne z jihu a večer ze západu a identifikoval jako její zdroj Slunce. O objevu informoval Greenwichskou observatoř, kde potvrdili, že v době pozorování procházela středem slunečního disku rozsáhlá skupina skvrn. Hey se správně domníval, že radiový tok souvisí s touto skupinou. Výsledky pozorování byly do konce války utajovány a Hey se vrátil k detailním pozorováním až v roce 1946. Dnes víme, že v aktivních oblastech dochází k přepojení magnetických siločar a uvolnění energie v rentgenovém, optickém i radiovém oboru. V témže roce 1946 Hey objevil lokalizovaný radiový zdroj v souhvězdí Labutě, který byl mnohem později identifikován jako pozůstatek po explozi supernovy.

James Hey zůstal po válce v Anglii, kde spolupracoval s Bernardem Lovellem a pokračoval ve výzkumu Slunce pomocí mobilního



Karl Jansky u své antény. Otáčela se pomocí čtyř pneumatik z automobilu značky Ford. Anténou byl objeven radiový signál z centra Galaxie.



Záznam radiového záření Mléčné dráhy, který pořídil Jansky v únoru 1932. Anténa rotuje po 20 minutách.

vojenského radaru. Hey se stal v roce 1978 členem anglické Královské společnosti. Shodou okolností zemřel, stejně jako Reber, ve věku 90 let. Hey i Reber tak přispěli ke známé pověře o dlouhověkosti astronomů. Není bez zajímavosti, že život každého z nich byl dvakrát tak delší než život zakladatele radioastronomie – Karla Janskeho.

Projekt Diana

Ve čtyřicátých letech došlo také k prvním aktivním pokusům o odraz radiových vln od vzdálených objektů. Nejprve šlo o meteoritické stopy. V roce 1946 se v rámci projektu *Diana* (projekt byl pojmenován podle římské bohyně Měsíce) Američanům podařil husarský kousek. Upravené vojenské radary spojili tak, že vyslaly 0,25 s dlouhý pulz o frekvenci 111,5 MHz a výkonu 3 kW směrem k Měsíci a na Zemi zachytili odraz pulzu. Historicky šlo o první odraz radiových vln od nebeského tělesa. Projekt, který vedl americký radioinženýr *John DeWitt* (1906–1999), předznamenal cestu Američanů na Měsíc. Poznamenejme, že odraz od dalších nebeských těles se podařil až v letech 1961 (Venuše) a 1963 (Mars) a byly tak změřeny jejich vzdálenosti.

Krabí mlhovina

Na sklonku 40. let byl učiněn ještě jeden významný objev. V roce 1948 britsko-australský radioastronom *John Bolton* (1922–1993)



Karl Jansky (1905–1950), radioinženýr Bellových telefonních laboratoř, který pozoroval první radiový zdroj mimozemského původu



© Archiv NRAO

Radiová anténa z roku 1937, kterou zkonstruoval Reber ve Wheatonu

objevil radiový zdroj *Taurus A*, který v roce 1949 ztotožnil s Krabí mlhovinou, známou v optickém oboru.

John Bolton se narodil i vystudoval v Anglii, ale po II. světové válce zůstal v Austrálii, kde od roku 1946 pracoval v oddělení radiofyziky v CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*). Později se Bolton stal klíčovou postavou při budování australské radioobservatoře v Parkesu, na které bylo objeveno několik kvazarů a která se podílela na přenosu z prvního přístání člověka na Měsíci v roce 1969.

Padesátá léta

V padesátých letech se radioastronomie začíná bouřlivě rozvíjet. Byly objeveny desítky radiově aktivních objektů v naší Galaxii i za jejími hranicemi. Také došlo k optické identifikaci dalších dvou zdrojů: *Cas A* (pozůstatek po supernově) a *Cyg A* (radiogalaxie). Ve sluneční soustavě pokračoval radiový výzkum Slunce, kterému se věnovali zejména v australském CSIRO. Detailně zkoumali původ radiových vzplanutí a záblesků v koroně. Výzkum Venuše v mikrovlnném oboru prokázal její vysokou teplotu na povrchu. V padesátých letech také došlo ke dvěma mimořádným objevům, které radioastronomii daly zcela nový směr. Šlo o objev radiových vln s vlnovou délkou 21 cm a o objev radiových emisí z Jupiteru.

Na vlně 21 cm

V roce 1951 detekovali američtí fyzikové *Harold Ewen* (*1922) a *Edward Purcell* (1912–1997) v Lymanově laboratoři na



Grote Reber (1911–2002). Fotografie z období, kdy zkonstruoval svou anténu. Bylo mu 26 let. Reber vykonal první radiovou přehlídku oblohy.

Harvardu záření neutrálního vodíku na vlně 21 cm (1420 MHz). Toto záření vzniká, překlopí-li se spiny elektronu a jádra z paralelní do antiparalelní konfigurace. Záření je generováno obrovskými oblaky neutrálního vodíku, který vyplňuje prostor mezi hvězdami. Dosud identifikované radiové signály měly široký rozsah vlnových délek. V roce 1951 se poprvé podařila identifikace jedné jediné spektrální čáry. Význam objevu je obrovský. Čárové spektrum umožňuje sledovat Dopplerův posuv čáry a tím pohyby oblaků vodíku a mapování struktur Mléčné dráhy.

O hledání spektrálních čar vodíku v radiové oblasti se neúspěšně pokoušeli i v Holandsku. Když se *Jan Hendrik Oort* (1900–1992) dozvěděl o Reberově radioastronomickém průzkumu, zadal svému studentu, *Hendriku Christofelu van de Hulstovi* (1918–2000), za úkol vytipovat vhodné spektrální čáry, ve kterých by bylo možné pozorovat mezihvězdná oblaka. Již v roce 1945 navrhl Hulst jako výhodného kandidáta právě čáru o vlnové délce 21 cm. Američané Ewen a Purcell byli nicméně při detekci hledané čáry rychlejší. Použili trychtýřovitou anténu, která je dnes vystavena na observatoři NRAO v Green Banku. Američané přý o několikaleté snaze Holanďanů o nalezení čáry 21 cm vůbec netušili. Není bez zajímavosti, že o rok později se Purcell stal spolunositel Nobelovy ceny za nezávislý objev jaderné magnetické rezonance, který učinil v roce 1946.

Důsledky objevu emise na vlnové délce 21 cm v roce 1951 byly okamžité. Anglický fyzik a radioastronom *Bernard Lovell* (*1913) spolu s inženýrem a architektem *Charlesem*

Husbandem (1908–1983) začali hned v roce 1952 stavět na anglické observatoři Jodrell Bank obří, plně otočný radioteleskop určený pro pozorování této vlnové délky. Observatoř Jodrell Bank patřila Univerzitě v Manchesteru a bylo v ní umístěno již několik radioteleskopů, ale buď malých a nebo nepohyblivých. Namísto obvyklé drátěné mísy bylo třeba pro 21 cm pozorování vyrobit plně kovovou parabolu a vyřešit celou řadu technologických problémů. Stavba radioteleskopu byla dokončena v roce 1957. V té době se radioteleskop s anténou o průměru 76 metrů stal největším plně pohyblivým přístrojem na světě a dodnes zaujímá čestné třetí místo.

Křížová pole a radiové emise z Jupiteru

V padesátých letech si vybudovala pozici jednoho z center radioastronomie australská organizace CSIRO, která vlastnila řadu radioteleskopů. V roce 1954 vybudoval australský radioinženýr *Bernard Mills* (*1920) pro CSIRO speciální pole antén ve tvaru kříže. Šlo bezesporu o imponantní stavbu. Na poli 40 km západně od Sydney postavil dvě řady sloupů s 250 dipólovými anténami. Obě řady se protínaly, stavba měla tvar kříže s jedním ramenem dlouhým 450 metrů! Pole antén pracovalo na vlnové délce 3,5 m (85,5 MHz). Během následujících tří let bylo s tímto polem objeveno 2000 diskretních radiových zdrojů. Není divu, že anténní systémy Millsova typu začaly ve světě růst jako houby po dešti. Millsovo křížové anténní pole bylo předzvěstí budoucích velkých radioteleskopických sítí.



Harold Ewen kontroluje trychtýřovitou anténu, se kterou byla v roce 1951 objevena emise neutrálního vodíku na vlnové délce 21 cm



Dnešní podoba Lovellova teleskopu, jehož anténa má průměr 76 metrů

Millsovo křížové pole také postavili ve Spojených státech radioastronomové *Bernard Burke* (*1928) a *Kenneth Franklin* (1923–2007) z Carnegieho institutu pro vědu. Soustavu antén vybudovali 32 kilometrů severozápadně od Washingtonu na pronajatém pozemku. Ramena měla tvar písmene X (nevedla pod pravým úhlem), v každém rameni bylo 66 dipólových antén natažených mezi dva sloupy. Na jejich tvorbu Burke a Franklin spotřebovali 8 kilometrů drátu. Délka jednoho ramene byla 614 metrů a soustava pracovala na vlnové délce 13,5 m (22,2 MHz). Oba tvůrci testovali novou soustavu antén v roce 1955 na Krabí mlhovině. Přitom pozorovali praskot a radiové impulzy, které z počátku považovali za interference způsobené startováním automobilů na blízké farmě. Po několika měsících zkoumání se z periodicity signálu a jeho směru ukázalo, že ve skutečnosti přichází z Jupiteru, který se v době pozorování na obloze nacházel v blízkosti Krabí mlhoviny. Šlo o první radiový signál z cizí planety. Radiové emise Jupiteru jsou způsobené elektrony kroužícími kolem silokřivky magnetického pole, označujeme je zkratkou ECE (*Electron Cyclotron Emission*). Nejsilnější emise způsobují elektrony vázané na ty silokřivky pole planety, které procházejí měsícem Io, jehož vulkanické projevy zanechávají kolem planety charakteristický plazmový torus. Pomocí elektronových emisí bylo možné přesně zjistit periodu rotace planety. Nečekaný objev otevřel zcela nový směr planetární radioastronomie.

Dnes NASA prodává (za přibližně 5000 Kč) stavebnici s názvem „Radio JOVE“ (rádio Jupiter). Každý si může postavit jednoduchý

přijímač, kterým lze poslouchat radiové impulzy z této planety. Ale pozor, do stavby se pusťte jen, máte-li dostatek prostoru! Přijímač je sice malinký, ale anténa musí mít přibližně šest metrů.

60. léta – zlatý věk radioastronomie

V šedesátých letech 20. století zasáhla radioastronomie do našich představ o vesmíru snad nejvíce. Zejména čtyři objevy byly klíčové: objev kvazarů, objev reliktního záření, objev neutronových hvězd a objev organických molekul v mlhovinách. Každý z těchto objevů by postačil na samostatný článek, v tomto přehledu se o nich můžeme zmínit jen velmi stručně. Radioastronomie se, zejména díky těmto zásadním objevům šedesátých let, stala z astronomické Popelky rovnocennou partnerkou optické astronomie a v dalších letech již kráčela nerozlučně po jejím boku.

Kvazary – jádra aktivních galaxií

Kvazary byly nepochybně zaznamenávány na radiových mapách oblohy z konce 50. let, nicméně nikdo si na těchto objektech nepovšimnul ničeho zvláštního. Teprve v roce 1960 byla u objektu *3C 48* (objekt 48 třetího Cambridžského katalogu radiových zdrojů) zjištěna interferometricky velmi malá úhlová velikost. Vzápětí byl nalezen optický protějšek – objekt jeví se jako namodralá hvězda s širokými emisními čarami neznámého původu.

Podstata těchto objektů vyplynula na povrch až o dva roky později. V roce 1962 zjistili *Cyril Hazard* a *John Bolton* z radioobservatoře v Parkesu (CSIRO, Austrálie) přesně polohu ra-

diového zdroje *3C 273*. Posloužila jim k tomu série zákrytů objektu Měsícem. Znalost polohy umožnila mladému astronomovi *Maartenu Schmidhovi* z Mt. Palomarské observatoře pořídit spektrum optického protějšku. Emisní čáry vypadaly stejně podivně jako u objektu *3C 48*. Schmidtovi se je ale nakonec podařilo identifikovat. Šlo o čáry obyčejného vodíku, byly však posunuté Dopplerovým jevem o 16 % směrem k červenému konci spektra. To znamenalo, že objekt se od nás vzdaluje rychlostí 47 000 km/s, je ve vzdálenosti dvě miliardy světelných roků a jeho výkon musí být 10^{40} W.

Astronomům se tak naskytla podívaná na mimořádně zajímavé objekty. Na obloze se jeví jako bodové hvězdy, jejich obrovská vzdálenost ale znamenala, že musí jít o nejsvítilivější zdroje ve vesmíru vůbec. Dnes víme, že jde o svítící jádra velmi aktivních galaxií, v jejichž centru je černá díra, a látka dopadající do ní je zdrojem energie kvasaru. Je možné, že každá větší galaxie prošla na počátku vývojovým stadiem v podobě kvazaru. Název *kvasar* vznikl až v roce 1964 a je zkratkou z anglického *quasi-stellar radio source* (hvězda podobný radiový zdroj).

Reliktní záření – posel dávných časů

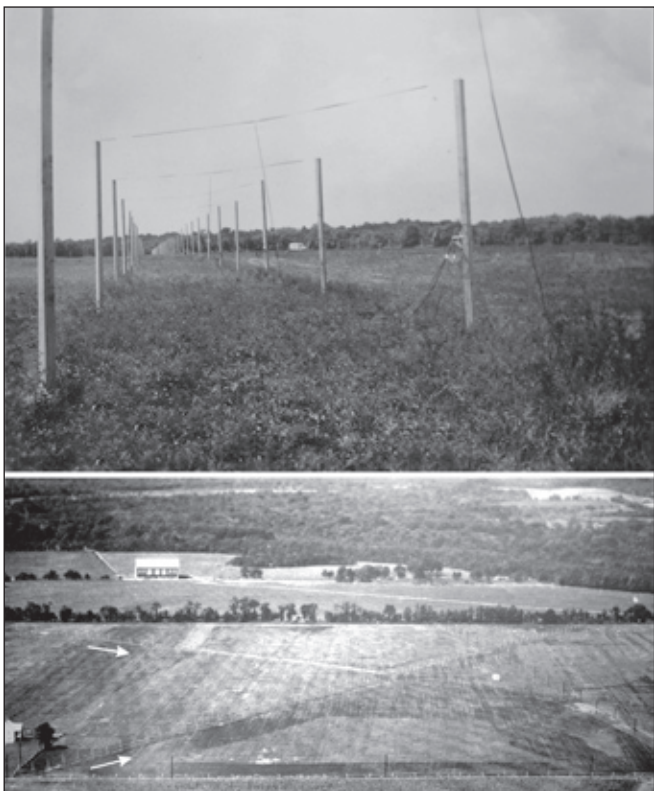
V počátečním stadiu byl vesmír velmi horký a hustý. Nacházel se v plazmatickém stavu, pro který jsou typické volné nosiče nábojů. Žhavou plazmatickou koulí se proháněly záporné elektrony a od přibližně deseti mikrosekund kladné protony. V takovém prostředí je světlo a obecně veškeré elektromagnetické záření vázáno na látku. Fotony jsou zachytávány nabitými částicemi a znovu vyzařovány do náhodného směru. Podobné prostředí existuje například v nitru Slunce.

Vesmír ale expandoval a postupně chladnul. Přibližně 400 000 let po vzniku ochladl natolik, že v něm začaly houfně vznikat atomární obaly. To byl konec plazmatického skupenství, volné elektrony a protony se staly součástí

ZAJÍMAVÉ VLNOVÉ DÉLKY A FREKVENCE

Vlnová délka	Frekvence	Význam
1 mm	300 GHz	vlnová délka, na které má maximální intenzitu reliktní záření
12,24 cm	2,45 GHz	vlnová délka využívaná v domácích mikrovlnných troubách
21 cm	1,42 GHz	čára neutrálního vodíku odpovídající překlopení spinu elektronu v atomárním obalu
600 m	500 kHz	frekvence pro Morseovu komunikaci a pro vysílání záchranného signálu SOS
6000 km	50 Hz	frekvence naší elektrické rozvodné sítě
38314 km	7,83 Hz	základní frekvence Schumannovy rezonance mezi povrchem Země a ionosférou

© Carnegie Institution for Science, Washington, D.C.



Millsovo křížové pole antén z roku 1954 ve Spojených státech, kterým byly objeveny radiové signály z planety Jupiter. Na horním snímku je detail jednoho ze dvou ramen. Na dolním je letecký snímek oblasti, směr ramen je označen šipkami.

neutrálních atomů. Neutrální prostředí bylo pro světlo víceméně průhledné, říkáme, že se záření oddělilo od látky. Vesmír se změnil. Právě skončil Velký třesk a zrodil se vesmír, jaký známe. Pravda, nebyly v něm ještě hvězdy ani galaxie, ale vznik těchto struktur byl již jen otázkou času.

Uvolněné záření mělo tenkrát vlnovou délku ve viditelné části spektra. S další expanzí vesmíru se vlnová délka tohoto reliktního záření postupně prodlužovala až na dnešní 1 milimetr. Existenci reliktního záření z období konce Velkého třesku předpokládal v roce 1948 již George Gamow (1904–1968) se spolupracovníky. Tenkrát tohoto posla dávných časů ale nikdo nehledal. Reliktní záření bylo objeveno náhodně až v roce 1965.

V Bellových telefonních laboratořích v New Jersey (USA) zůstala po ukončení činnosti telekomunikační družice *Echo* k dispozici v lokalitě Holmdel radiová anténa v podobě trychtýře, která pracovala na vlnové délce 7,3 cm a měla sběrnou plochu 25 m². Vedení Bellových laboratoří rozhodlo, že za pomoci antény bude provedena radiová přehlídka oblohy. Arno Penzias (*1933) a Robert Wilson (*1936) anténu zrekonstruovali a již při prvních testech v roce

1965 se ukázal šum, který nepocházel ani ze Země, ani ze Slunce, ale rovnoměrně přicházel ze všech směrů. Americký teoretik James Peebles (*1935) se spolupracovníky navrhl, že jde o reliktní záření z období formování atomárních obalů. Penzias a Wilson získali za tento objev Nobelovu cenu za fyziku v roce 1978.

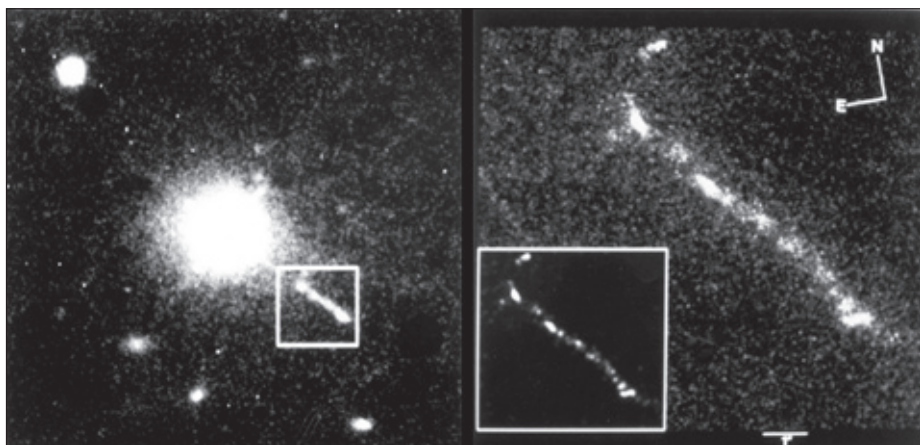
Reliktní záření podrobně prozkoumaly až družice a sondy. První byla družice *COBE* (1989), která přesně proměřila spektrum záření, určila jeho teplotu (2,73 K) a v roce 1992 našla nepatrné fluktuace reliktního záření – první pozorované struktury ve vesmíru. Lidstvo tak poprvé v historii pohlédlo na samotný závěr Velkého třesku. Právem byly oba autoři experimentů na družici *COBE*, John Mather

a George Smoot, odměněni Nobelovou cenou za fyziku v roce 2006. Skutečně detailní analýzu reliktního záření provedla sonda *WMAP* (2001), která zjistila přesné stáří vesmíru (13,7 miliardy let), dobu vzniku prvních hvězd (400 milionů roků) a další důležité kosmologické parametry. V současnosti zkoumá reliktní záření evropská sonda *Planck* (2009), která má úhlovou přesnost 0,17° a teplotní rozlišení 2 μ K.

Zelení mužičkové a pulzary

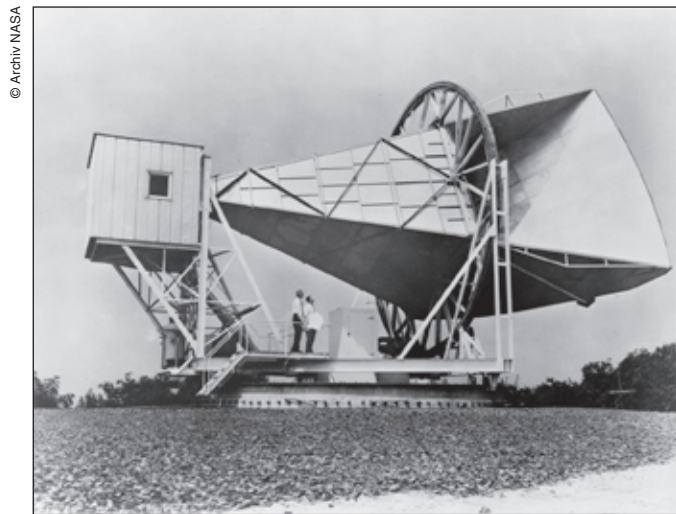
Pouhý rok po objevu neutronu navrhli v roce 1933 Fritz Zwicky a Walter Baade, že by ve vesmíru měly existovat neutronové hvězdy jako jedna ze závěrečných fází hvězdného vývoje. Tyto objekty byly náhodou objeveny v roce 1967 na Univerzitě v Cambridge, kdy Jocelyn Bellová (*1943), mladá asistentka Antony Hewish (*1924), našla objekt, který s železnou pravidelností emitoval radiové záblesky. Po několika měsících tyto záblesky živily pověsti o jejich umělém původu a zpočátku byl objekt označován zkratkou *LGM-1* (Little Green Men – Malí zelení mužičkové). Pravda o jejich původu byla prostší, ale přesto fyzikálně nesmírně vzrušující. V roce 1968 navrhli rakousko-americký astrofyzik Thomas Gold a nezávisle na něm italský astrofyzik Franco Pacini správný mechanismus. Objekt je rotující neutronová hvězda, jejíž rotační a magnetická osa nejsou totožné. V magnetických pólech vytvářejí rotující nabitě částice radiové skvrny a celý objekt se chová jako rotující maják, který pravidelně k pozorovateli vysílá záblesky. Pro tyto objekty se nakonec ujal název pulzary a Antony Hewish získal za jejich objev Nobelovu cenu za fyziku v roce 1974. Několik významných astrofyziků, včetně Freda Hoyla, protestovalo proti tomu, že část ceny nebyla udělena také Jocelyn Bellové. Je třeba ale zdůraznit, že antény, s jejichž pomocí Jocelyn Bellová první pulzar našla, vybudoval právě Antony Hewish.

Dnes je dívka, která kdysi objevila první čtyři pulzary, ctihodnou dámou s nepatrně obměněným jménem – Jocelyn Bellová Burnellová. Na XXVI. valném shromáždění Mezinárodní astronomické unie v Praze v roce 2006 se s citem podílela na jednáních o vyřazení Pluta ze seznamu planet a svým šarmem přispěla k jejich klidnému průběhu.



Kvazar 3C 273 vyfotografovaný dalekohledem HST v optickém oboru. Patrný je výtrysk látky formovaný v těsném okolí centrální černé díry.

© NASA



Trychtyřová anténa, která sloužila v Bellových telefonních laboratořích ke sledování družice Echo a později s ní Penzias a Wilson objevili reliktní záření

K nejznámějším pulzarům patří samozřejmě první objevený pulzar, dnes má označení PSR B 1919+21, nachází se v souhvězdí Lištičky a jeho perioda je 1,34 s. Dalším objeveným pulzarem byl pulzar v Krabí mlhovině (1968), pozůstatek po explozi supernovy, která byla pozorována v roce 1054. Tento pulzar má periodu 33 milisekund. V roce 1971 byl v souhvězdí Kentaura nalezen družicí *Uhuru* první rentgenový pulzar, jenž se nachází v místě již dříve známého rentgenového zdroje Centaurus X-3.

Velmi zajímavým objektem je podvojný pulzar PSR 1913+16, který objevili američtí fyzikové *Russel Hulse* (*1950) a *Joseph Taylor* (*1941) v roce 1974 radioteleskopem v Arecibu. Jde o unikátní relativistickou laboratoř, obě složky mají hmotnost o něco málo větší než Slunce, ale obíhají kolem sebe jen ve vzdálenosti jednoho slunečního poloměru! Na tomto systému Hulse a Taylor naměřili celou řadu relativistických jevů. Zjištěnou změnu periody oběhu obou složek interpretovali jako únik energie ze soustavy způsobený vyzářováním gravitačních vln. Za výzkum unikátní soustavy získali oba Nobelovu cenu za fyziku pro rok 1993. Dnes je známo takových podvojných soustav vhodných k testování teorie relativity několik, další je například objekt PSR J0737–3039.

V roce 1982 byl objeven první milisekundový pulzar, leží jen několik stupňů od prvního objeveného pulzaru; má periodu 1,56 ms a katalogové označení PSR B1937+21. Pulzary se v průběhu několika desetiletí zařadily po bok ostatních typů hvězd a staly se standardními objekty ve vesmíru. V současnosti jsou využívány i jako přesný zdroj časového signálu a jako kvalitní zdroj synchrotronního záření

při měření parametrů mezihvězdného prostředí.

Organické molekuly ve vesmíru

V astronomii dlouho přezíval názor, že mezi hvězdami nemohou být složitější molekuly, neboť by je pronikavé záření hvězd rozštěpilo. Ve 30. letech byly objeveny jen jednoduché molekuly CH a CN. Víceatomové molekuly odolávaly objevu až do roku 1968. Tehdy A. Cheung, D. Rank, C. Townes, D. Thornton a W. Welch z Kalifornské

univerzity v Berkeley (USA) detekovali molekuly čpavku (NH_3) ve směru galaktického jádra na základě rotačních přechodů v radiové části spektra. K objevu využili šestimetrový radioteleskop pracující na vlnové délce 1,25 cm.

Objev odstartoval hledání dalších molekul. Charakteristické čáry v rotačních a vibračních spektrech byly nejprve hledány experimentálně v pozemských laboratořích a teprve poté radioteleskopy. Ještě téhož roku 1968 byla nalezena molekula vody (H_2O) a v roce 1969 molekula formaldehydu (H_2CO). V roce 2008 našli ve vesmíru němečtí radioastronomové z *MPIfR* (Max Planck Institute

for Radioastronomy) v hvězdné porodnici *Sag B2* v souhvězdí Střelce molekulu acetonitrilu ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CN}$), která je přímým předchůdcem glycinu ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), jedné ze základních stavebních jednotek bílkovin. Tatáž skupina z *MPIfR* našla v roce 2009 v mezihvězdném prostředí také molekuly etylformiátu ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OCHO}$) a *n*-propylkyanidu ($\text{C}_3\text{H}_7\text{CN}$). První z nich patří do skupiny esterů a druhá do alkykyanidů. Detekci provedli třicetimetrovým radioteleskopem *IRAM* v jihošpanělské lokalitě Pico Veleta. Jde o jedny z největších nalezených molekul v kosmickém prostoru.

Zde samozřejmě historie radioastronomie nekončí, ale v našem vyprávění již není prostor pro moderní dějiny tohoto oboru. V další části se proto rovnou vypravíme za konkrétními radioteleskopy...

Literatura

- J. Hey: *The Radio Universe*. Pergamon Press, New York 1975.
- G. Reber: *A Dictionary of Astronomy*. Oxford University Press, 1997.
- B. Burke, F. Graham-Smith: *An Introduction to Radio Astronomy*. Cambridge University Press, Melbourne 1997.
- J. Kennewell, M. Wilkinson: *The first 50 years of radio astronomy*. *Amateur Radio Action* 6(8) (1983). Online: <http://www.spaceacademy.net.au/museum/RA50.htm>.

PŘEHLED VÝZNAMNÝCH OBJEVŮ Z POČÁTEČNÍHO OBDOBÍ RADIOASTRONOMIE

Rok	Objevitel	Objev
1932	Karl Guthe Jansky	detekce radiového signálu z centra Galaxie
1941	Grote Reber	první radiová přehlídka oblohy
1942	James Hey	detekce radiového signálu ze Slunce
1946	John DeWitt	americký projekt Diana, odraz radiovln od Měsíce, který předznamenal cestu člověka na Měsíc
1948	John Bolton	objev radiového zdroje Tau A, o rok později první identifikace s optickým protějškem – Krabí mlhovinou M 1
1951	H. Ewen, E. Purcell	objev první spektrální čáry v radiovém oboru (neutrální H, 21 cm)
1954	Bernard Mills	vybudování prvního pole antén ve tvaru kříže
1955	B. Burke, K. Franklin	objev radiových emisí z planety Jupiter
1962	M. Smith, C. Hazard, J. Bolton	identifikace spektrálních čar optického protějšku radiového zdroje 3C 273, rozpoznání prvního kvazaru
1965	A. Penzias, R. Wilson	objev reliktního záření pozadí
1967	J. Bellová, A. Hewish	objev pulzarů
1968	A. C. Cheung, D. M. Rank, C. H. Townes, D. D. Thornton, W. J. Welch	detekce rotačních čar čpavku, první složitější organické molekuly ve vesmíru
1974	Russel Hulse, Joseph Taylor	objev podvojného pulzaru PSR 1913+16, později nepřímé pozorování gravitačních vln