

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

S. E. Chajkin

Radiová astronomie

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 2, 174--179

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137095>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

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>

RADIOVÁ ASTRONOMIE

Radiová astronomie je mladý vědní obor, který se velmi rychle rozvíjí, a který klade radiotechnikům stále nové problémy. Radiová astronomie je názorným příkladem toho, jak radiotechnika vyzbrojuje vědu novými technickými prostředky a vytváří tak předpoklady pro vznik celých nových vědeckých disciplin.

Domněnka, že nebeská tělesa vysílají radiové záření, byla vyslovena již v posledních letech minulého století, v době prvních pokusů s radiovými vlnami. Tehdejší nedokonalé a zejména málo citlivé aparatury nemohly ovšem takové záření zachytit. Teprve později, v třicátých letech tohoto století, byly zachyceny mimozemské radiové vlny a prudký rozmach radiotechniky za druhé světové války vytvořil předpoklady pro rychlý rozvoj radiové astronomie.

Zdroje kosmického radiového záření jsou různé kosmické objekty: Slunce, jednotlivé oblasti Mléčné dráhy, mnohé mlhoviny, mezihvězdná hmota, Měsíc. Je třeba rozlišovat dvojí radiové záření: tepelné elektromagnetické záření a záření, jehož původ není tepelný. Nejčastější je záření prvního druhu. Je to na příklad záření »klidného« Slunce, kdy není zvýšené sluneční činnosti, záření mezihvězdného ionisovaného plynu, záření vyhaslých nebeských těles, na příklad Měsíce. Výkon tepelného elektromagnetického záření závisí na teplotě tělesa a na jeho vyzařovací schopnosti (která je dána podstatou vyzařujícího tělesa a která může záviset i na jeho teplotě). Tato vyzařovací schopnost se může měnit s frekvencí vyzařovaného elektromagnetického záření, avšak v případech, které radiotechniky zajímají, nebývá změna frekvence příliš velká, intenzita tepelného záření v mezích nevelkého rozsahu frekvencí se příliš nemění, a tepelné záření má tedy vždy dostatečně široké ploché spektrum.

Vztah mezi vyzařovací a pohlcovací schopností tělesa je dán Kirchhoffovým zákonem: poměr vyzařovací schopnosti ke schopnosti pohlcovací při dané frekvenci a teplotě je stejný pro všechna tělesa. Chová-li se tedy těleso v mezích libovolného rozsahu frekvencí jako těleso absolutně černé (absolutně černým se nazývá takové myšlené těleso, které při libovolné teplotě pohltí všechno na ně dopadající záření v celém spektru frekvencí), je jeho vyzařovací schopnost v tomto intervalu spektra rovna vyzařovací schopnosti absolutně černého tělesa. Výkon tepelného záření tělesa v mezích této části spektra je dán Planckovým kvantovým zákonem.

Pro radiové vlny, které tvoří dlouhovlnnou část spektra elektromagnetického záření, ztotožňuje se kvantový zákon Planckův s klasickým zákonem Rayleigha-Jeans. V souhlase s tím je vyzařovaný výkon úměrný veličině $\nu^2 kT$, kde ν je frekvence záření, k Boltzmannova konstanta, T absolutní teplota. Celkový výkon, vyzařovaný černým tělesem, je úměrný čtvrté mocnině teploty (zákon Stefanův—Boltzmannův). Rychlý růst celkového vyzařovaného výkonu při zvýšení teploty a značně pomalejší růst vyzařovaného výkonu (úměrného první a nikoli čtvrté mocnině teploty) v oblasti dlouhých vln je vysvětlován tím, že při zvýšení teploty se spektrum záření rozšiřuje na stranu krátkých vln a rychle roste výkon, připadající na krátkovlnnou oblast spektra. Je-li na příklad teplota Slunce asi $10\,000^\circ\text{K}$ a teplota Měsíce 100°K , může být úhrnné tepelné záření Měsíce 10^8 krát slabší než záření Slunce. V oblasti radiových vln je však tepelné záření Měsíce jen 100-krát slabší než tepelné záření Slunce. Z toho je vidět, proč zjištění tepelného radiového záření tak chladného tělesa, jako je Měsíc, nebylo zvláště obtížné.

Výkon tepelného elektromagnetického záření libovolného tělesa je možno cha-

rakterisovat jeho efektivní teplotou, to jest teplotou, kterou musí mít absolutně černé těleso, aby za stejných podmínek vyzařovalo v daném rozsahu frekvencí týž výkon, který vyzařuje uvažované těleso. Chová-li se stejnorodé a rovnoměrně ohřáté těleso v nějakém rozsahu frekvencí jako absolutně černé, je efektivní teplota tělesa pro tento rozsah frekvencí rovna jeho skutečné teplotě. Nepohlí-li těleso všechno záření, které na ně dopadá, to jest jestliže se záření odráží od povrchu tělesa, nebo je-li záření z jiných příčin pohlcováno jen částečně, vyzařuje toto těleso podle Kirchhoffova zákona méně než absolutně černé těleso. Z toho vyplývá, že jeho efektivní teplota je nižší než teplota skutečná. U částečně průzračných těles, která mají malou tloušťku, je efektivní teplota nižší než teplota skutečná; úhrn pohlceného záření v tělese je malý. Je-li tento úhrn velký (velká tloušťka), blíží se efektivní teplota tělesa teplotě skutečné.

Mnohé zdroje kosmického radiového záření jsou částečně průzračnými tělesy. Kosmické záření vzniká na příklad v ionisovaném plynu (atmosféra Slunce, plynné mlhoviny), u něhož je pohlcení tím menší, čím kratší je vlnová délka záření. Ionisovaný plyn, který je zdrojem kosmického radiového záření, má často v různých vrstvách různou hustotu a teplotu. Na příklad v atmosféře Slunce je teplota velmi husté vnitřní části — chromosféry — řádově 10 000 až 20 000°, teplota velmi zředěné vnější části — korony — řádově 1 000 000°. Mají-li různé vrstvy tělesa různou teplotu a průzračnost, závisí efektivní teplota na rozdělení skutečné teploty a průzračnosti.

Efektivní teplota tepelného elektromagnetického záření nemůže nikdy převýšit skutečnou teplotu nejžhavější oblasti tělesa, které záření vydává. To je často rozhodující při zjišťování, je-li kosmické radiové záření zářením tepelným. Tak na příklad intenzita radiového záření Slunce v době zvýšené sluneční činnosti vzrůstá desateronásobně až stonásobně ve srovnání s intenzitou radiového záření »klidného« Slunce, někdy dokonce na krátký čas vzroste 10^5 až 10^6 násobně. Toto sporadické radiové záření Slunce, které se superponuje na jeho základní tepelné záření, nelze vykládat jako tepelné, protože by bylo nutno připustit, že některé oblasti sluneční atmosféry mají teplotu stamilionů nebo miliard stupňů, což je velmi nepravděpodobné. Analogické úvahy, byly provedeny při určování intenzity radiového záření »radiových mlhovin« (jak se nyní podle I. S. Š k l o v s k é h o nazývají lokální zdroje záření, zvané dříve »radiové hvězdy«).

Podstata tohoto netepelného záření kosmických objektů není ještě s konečnou platností vysvětlena. Vyložíme dvě nejpravděpodobnější hypotезy. Podle první je radiové záření radiových mlhovin, částečně radiové záření Mléčné dráhy, a jak se domnívají někteří autoři i sporadické radiové záření Slunce elektromagnetickým zářením, vznikajícím při pohybu rychlých (relativistických) elektronů v magnetických polích, která existují v mezihvězdném prostoru a kolem Slunce (theorie, které jsou založeny na této hypotезe, vypracovali hlavně sovětsí vědci I. S. Š k l o v s k i j, G. G. G e t m a n c e v a V. L. G i n z b u r g). Frekvence tohoto záření závisí na rychlostech elektronů a na intenzitách magnetických polí. Rychlosti elektronů nejsou stejné a magnetická pole nejsou stejnorodá. Pozorované záření má ploché spektrum. Výpočet pravděpodobných hodnot tohoto záření dává výsledky, které souhlasí s pozorovaným spektrem radiového záření Mléčné dráhy a jednotlivých radiových mlhovin. Spektrum tohoto záření leží hlavně v pásmu metrových vln.

Jiná hypotезa o vzniku netepelného záření kosmických objektů vysvětluje sporadické záření Slunce. Předpokládá se, že ve sluneční atmosféře vznikají působením toků nabitých částic kmity elektrických nábojů, podobné kmítům, které

vznikají ve výbojce naplněné ionisovaným, ale vcelku neutrálním plynem (plasmou). Frekvence kmitů plasmy jsou pro podmínky, které jsou v sluneční koruně, velmi blízké frekvencím, pozorovaným v některých druzích sporadického radiového záření Slunce.

Ve všech uvažovaných případech jde o radiové záření, které má více nebo méně široké ploché spektrum. Zastavme se nyní u jednoho zvláštního typu kosmického radiového záření, které má tak úzké spektrum, že je nazýváno monochromatické. Střední frekvence tohoto záření, jehož zdrojem je mezihvězdný vodík, je 1420,405 Mc/sec. Původ tohoto záření je takový: Je známo, že přechod atomu s jedné energetické hladiny na jinou je doprovázen uvolňováním (při přechodu s vyšší hladiny na nižší hladinu) nebo pohlcováním (při přechodu s nižší hladiny na vyšší hladinu) elektromagnetického záření o frekvenci ν , která je dána vztahem $\Delta w = h\nu$, kde Δw je energie kvantu (rozdíl energie dvou sousedních energetických hladin), h Planckova konstanta. Pro velmi blízké energetické hladiny může být energetický rozdíl tak malý, že frekvence ν leží v radiovém pásmu. Vodík v neexcitovaném stavu má dvě takové blízké energetické hladiny, a přechod mezi nimi odpovídá výše uvedené frekvenci (délka vlny $\lambda \approx 21$ cm).

Na možnost zjistit mezihvězdný vodík na podkladě zmíněných přechodů poukázal po prvé holandský astronom Van der Chols t. I. S. Š k l o v s k i j theoreticky propracoval tuto otázku a ukázal, za jakých podmínek je možno toto radiové záření zjistit.

Radiové záření kosmických zdrojů je možno pozorovat v širokém pásmu, od vln délkou 15 až 20 m do milimetrových vln. Pro dlouhé vlny je toto pásmo ohraničeno neprůzračností zemské atmosféry pro dlouhé vlny, pro krátké vlny pak je toto pásmo ohraničeno možnostmi dnešní přijímací techniky.

Radioteleskopy, určené pro pozorování radiového záření kosmických zdrojů, se v mnohém shodují s obyčejnými radiovými přijímacími zařízeními pro odpovídající vlnový rozsah, zároveň však mají proti těmto řadu zvláštností, které jsou podmíněny jednak vlastnostmi, jež radioteleskopy musí mít, aby mohly sloužit svému účelu, jednak specifickými úlohami při radioastronomických pozorováních.

Jaké jsou zvláštnosti radiového záření kosmických objektů?

1. Intensita tohoto záření je v převážné většině případů tak malá, že hladina přijímacího výkonu leží mnohem níže, než je hladina vlastních šumů přijímače.

2. Záření má ve většině případů ploché spektrum, které zaujímá široké pásmo frekvencí.

Specifickými úlohami při pozorování jsou stanovení výkonu přijímaného záření, určení souřadnic a rozměrů zdroje záření, studium rozdělení »radiového jasu« po povrchu zdroje, zjištění stupně polarisace a spektrálního složení přijímaného záření. Všechny tyto zvláštnosti záření samého a specifičnost úloh, jež je nutno řešit při přijímání, kladou zvláštní požadavky jak na antenní zařízení, tak na přijímací aparaturu radioteleskopů. Anteny musí mít velké zesílení a ostrý směrový diagram, který zabezpečí velkou rozlišovací schopnost radioteleskopu (to jest možnost rozlišit blízké zdroje) a řešení ostatních výše uvedených úloh. Dosahuje se toho zvětšením rozměrů anteny. Úlohy, k jejichž řešení je třeba velkých rozlišovacích schopností, se však dají řešit v mnoha případech nepřímou, bez podstatného zvětšení rozměrů anteny. Pro přímá pozorování se používá především anten s parabolickým reflektorem. Největší z dnes existujících nebo právě stavěných parabolických reflektorů je reflektor o průměru 15 m pro centimetrové vlny a reflektor o průměru 75 m pro metrové vlny. Další zvětšování rozměrů anten naráží již na velké technické obtíže.

Možnosti, které dávají radiové astronomii uvedené anteny velkých rozměrů, uspokojují alespoň částečně potřeby v rozsahu centimetrových vln, naprosto však neuspokojují v rozsahu vln metrových. Zde se při pozorováních, která vyžadují velkých rozlišovacích schopností, používá nepřímých metod. Nejrozšířenější z nich je metoda mnohalistového diagramu, který se dostane přijímáním na dvě anteny, umístěné ve vzájemné vzdálenosti mnoha vlnových délek. Taková zařízení dostala název radiové interferometry. Ještě více možností dává radiový interferometr, který sestává z mnoha anten, pracujících na principu difrakční mřížky. Po prvé popsal takovou soustavu V. V. Vitkevič.

Velkou rozlišovací schopnost v jednom směru lze získat též zvětšením rozměrů zvláštní anteny v horizontálním směru, což je značně snadnější než zvětšování rozměrů v obou směrech. Vyrábějí se také anteny, které lze snadno rozevřít v horizontálním směru. Existují i jiné cesty pro zvyšování rozlišovací schopnosti radioteleskopů. Někdy se používá nepohyblivých anten (což připouští velké její rozměry), které sestávají z velkého množství dipólů; směr osy směrového diagramu se u těchto anten mění elektricky změnou fázového posunu v napaječích, jdoucích od jednotlivých dipólů k přijímači.

Radiová astronomie je obor mladý. Za krátkou dobu své existence však nashromáždila již obsáhlý materiál. Radiová astronomie má velký význam pro rozšiřování našich vědomostí o vesmíru. Podstatně doplňuje naše znalosti o kosmických objektech, získané optickými pozorováními, a — což je ještě významnější — umožňuje zjistit a pozorovat kosmické objekty, které opticky pozorovat vůbec nelze. Tato možnost pramení ze dvou okolností:

1. Mnohé kosmické objekty jsou téměř průzračné pro viditelné světlo a mnohem méně průzračné pro radiové vlny. V souhlase s Kirchhoffovým zákonem nevyzařují proto viditelné světlo, jsou však zdroji radiového záření, a proto je možno je objevit a zkoumat jen pomocí radioteleskopů.

2. Rozptyl a pohlcování elektromagnetických vln v kosmickém prostoru je tím slabší, čím je delší vlna, a proto jsou radiové vlny při průchodu kosmickým prostorem zeslabovány podstatně méně než vlny světelné. V důsledku toho je možno pozorovat radiové záření kosmických objektů, nacházejících se v takových vzdálenostech, kde optické záření je již nezjistitelné. Radiová astronomie rozšiřuje tedy hranice oblasti vesmíru, která je dostupná našemu pozorování.

Radiové záření Slunce je možno pozorovat v pásmu od metrových do milimetrových vln. Efektivní teplota tohoto záření se mění v souhlase se změnou sluneční činnosti. V obdobích malé sluneční činnosti («klidné» Slunce) zůstává tato teplota vcelku stálá, je však podstatně různá pro vlny různé délky (řádově milion stupňů pro metrové vlny, statisíce stupňů pro vlny decimetrové a desítky tisíc stupňů pro vlny centimetrové). Záření «klidného» Slunce je tepelným zářením ionisované sluneční atmosféry. Čím kratší je vlnová délka tohoto záření, tím hlubší jsou vrstvy sluneční atmosféry, z nichž záření vychází.

V době zvýšené sluneční činnosti efektivní teplota radiového záření Slunce vzrůstá, a to s rostoucí vlnovou délkou. S růstem intensity radiového záření souvisí různé jevy aktivních oblastí Slunce, především sluneční skvrny. Nad skvrnami se tvoří oblasti zvýšeného radiového záření, při čemž efektivní teplota u těchto oblastí nezděnká sto až tisíckrát převyšuje efektivní teplotu «klidného» Slunce pro metrové vlny, několikrát pak pro vlny centimetrové. Z této příčiny nelze radiové záření, vycházející z oblastí nad slunečními skvrnami, pokládat za záření tepelné. Toto záření má jinou podstatu.

Zvlášť pronikavým růstem radiového záření je doprovázen jev slunečních erup-

cí, jež lze pozorovat na Slunci opticky. V době trvání erupce vzroste radiové záření Slunce na dlouhých vlnách na krátký čas (několik minut) až i milionkrát.

Radiové záření Mléčné dráhy lze pozorovat v pásmu metrových a decimetrových vln. Intensita tohoto záření je v různých směrech různá. Maxima dosahuje ve směru ke středu Mléčné dráhy, to jest ve směru, kde se nachází největší počet hvězd Mléčné dráhy a největší množství mezihvězdného plynu. Rozdělení radiového záření Mléčné dráhy v jiných směrech také odpovídá její struktuře. Efektivní teplota radiového záření Mléčné dráhy ve směru k jejímu středu dosahuje sta stupňů pro metrové vlny, vzrůstá s růstem vlnové délky a dosahuje statisíc stupňů při vlnové délce 15 m. Radiové záření Mléčné dráhy je zčásti radiovým zářením oblaků ionisovaného mezihvězdného plynu, který má teplotu řádově desetitisíc stupňů. Je však nepochybné, že část tohoto záření má netepelný původ (viz vpředu vyložené hypotézy).

Také jiné, Mléčné dráze analogické hvězdné soustavy jsou zdrojem radiového záření, na příklad velká mlhovina v Andromedě. Charakter a intensita tohoto záření jsou přibližně tytéž jako u Mléčné dráhy, a také jeho podstata je táž.

Radiové záření jednotlivých diskretních zdrojů je možno pozorovat spolu s radiovým zářením Mléčné dráhy v pásmu metrových a decimetrových vln. K pozorování radiového záření diskretních zdrojů se používá hlavně radiových interferometrů, které umožňují vydělit záření z těchto diskretních zdrojů ze záření Mléčné dráhy a určit jejich souřadnice (rozměry těchto diskretních zdrojů jsou řádově obloukové minuty nebo desítky minut). Bylo objeveno již kolem 2000 takových diskretních zdrojů radiového záření, z nich několik velmi silných, jejichž záření se na metrových vlnách blíží toku radiového záření Slunce. Intensita radiového záření diskretních zdrojů s klesající vlnovou délkou rychle klesá, proto se na vlnách kratších než 10 cm taková záření dosud nepodařilo zjistit.

K vysvětlení podstaty radiového záření diskretních zdrojů je nutno především stanovit, odpovídají-li těmto zdrojům nějaké viditelné kosmické objekty, to jest ztotožnit tyto zdroje radiového záření s viditelnými hvězdami nebo mlhovinami. To není nijak jednoduché, již proto ne, že stanovit přesně souřadnice slabých zdrojů radiového záření je nesešné. Postupně se však podařilo ztotožnit velký počet diskretních zdrojů radiového záření s viditelnými mlhovinami, při čemž tyto mlhoviny mají některé zvláštnosti, které s radiovým zářením souvisí. Jak ukázal I. S. Š k l o v s k i j, jsou některé mlhoviny, které jsou zdroji silného radiového záření, zbytky hvězd, jejichž vzplanutí byla pozorována již před několika sty nebo tisíci lety. I. S. Š k l o v s k i j předpokládá, že při vzplanutí hvězdy (výbuch obrovských rozměrů) musí vzniknout zdroj rychlých nabitých částic, a objasňuje radiové záření těchto mlhovin způsobem již uvedeným, zejména zářením rychlých elektronů v magnetických polích.

V jiných případech se ještě nedal vysvětlit vznik radiového záření zvláštnostmi mlhoviny. Je však možno tvrdit, že ve většině případů záření diskretních zdrojů neboli »radiových mlhovin« nemůže být tepelného původu.

Radiové záření mezihvězdného plynu je možno pozorovat na vlnové délce 21 cm. Záření mezihvězdného vodíku v neexcitovaném stavu není možno pozorovat opticky (přítomnost neexcitovaného vodíku v mezihvězdném prostoru byla zjištěna již dříve, avšak nepřímými methodami), teprve methodami radiové astronomie byl tento vodík zjištěn přímo. To je jeden z nejnázornějších příkladů, jak radiová astronomie umožňuje pozorovat přímo objekty opticky nepozorovatelné.

Podle intensity radiového záření mezihvězdného vodíku v různých směrech lze soudit na jeho koncentraci v různých místech mezihvězdného prostoru. Jiným

příkladem pro to, jak radiová astronomie umožňuje získávat poznatky tam, kde optické prostředky nestačí, je výzkum polarisace kosmického radiového záření, průzkum nejvzdálenějších vrstev sluneční korony, výzkum radiového záření Měsíce (na centimetrových vlnách), který dává nové poznatky o jeho povrchu a j.

Důležitým odvětvím radiové astronomie je také radiolokační astronomie, využívající radiolokačních metod pro zjišťování kosmických objektů (na příklad meteorických těles).

Radiová astronomie dosáhla dnes již vysoké úrovně a neustále se dále rozvíjí. Jak vznik radiové astronomie samé, tak její dnešní úspěchy i její další rozvoj jsou úzce spjaty s rozvojem radiotechniky. Radiová astronomie často klade radiotechnikům úkoly odlišné od úkolů, jež vznikají v jiných oblastech radiotechniky. Jak se však mnohdy ukazuje, může řešení problémů ve speciální oblasti být často použito i jinde v technice. A čím jsou úkoly rozmanitější, tím širší je okruh aplikability, tím rychleji jde vývoj kupředu. Proto také rozvoj radiové astronomie zrychluje rozvoj radiotechniky.

Podle článků S. E. Chajkina v časopisech *Radiotěchnika*, 1955, č. 4 a *Radio*, 1955, č. 9.

Zpracoval *Stanislav Kubík*

V. F. BURCHANOV

náčelník hlavní správy Severní námořní cesty

SOVĚTSKÁ ANTARKTICKÁ EXPEDICE

Советская антарктическая экспедиция, Природа, 1956, č. 1, str. 9—12.

Drsná příroda Antarktidy k sobě připoutala již dávno pozornost badatelů. Od doby ruské expedice F. F. Bellingshausena a M. P. Lazareva, kteří v letech 1819—1821 objevili antarktickou pevninu, pracovaly zde četné jednotlivé výpravy. Všechny naše závěry o této rozsáhlé oblasti na zemském tělese se však přesto ještě různí a jsou zcela nedostatečné.

Studiu antarktické oblasti věnuje se značná pozornost v programu prací třetího Mezinárodního geofyzikálního roku. V Antarktidě budou současně pracovat expedice četných států.

Do Antarktidy se vypravila od břehů Baltického moře komplexní expedice Akademie věd SSSR. V letech 1956—1958 vykoná tato expedice vědecké a výzkumné práce ve vodách i na pevnině Antarktidy, nashromáždí znalosti o Antarktidě a prostuduje zákonitosti dějů, které se odehrávají na rozsáhlých prostorách zemského tělesa. Výsledků těchto výzkumů bude využito při řešení theoretických problémů a k předpovídání četných přírodních jevů na zemském tělese. Antarktická expedice bude kromě toho zkoumat možnosti lovu velryb.

Do plánu vědeckých a výzkumných prací je zahrnuto zpracování četných problémů. Má být prostudován vliv atmosférických procesů v antarktické oblasti na všeobecnou cirkulaci zemské atmosféry, což umožní zlepšit předpovědní službu. Studium antarktických vod povede vědce k vysvětlení základních zákonitostí jejich přemístování a vlnění a objasní rovněž, jak se tyto vody podílejí na všeobecné cirkulaci vod světového oceánu. Tyto práce také úzce souvisí s objasněním základních rysů stavby oceánského dna v antarktických oblastech. Velká