

KOSMICKÉ ROZHLEDY

NEPERIODICKÝ VĚSTNÍK ČESKOSLOVENSKÉ
ASTRONOMICKÉ SPOLEČNOSTI PŘI ČSAV

3

PŘI

Alan Sandage

Vybuchující galaxie

Žiadny z problémov astrofyziky v posledných 50-tich rokoch nepútal väčšiu pozornosť, ako problém vzniku kozmických lúčov. Od doby ich objavu roku 1911, vzniklo mnoho hypotéz o ich pôvode. Jedna z nich predpokladala, že supernovy a novy vybuchujúce v našej Galaxii sú zdrojom elektricky nabitých častíc nízkych energií. Tieto sú postupne urýchľované lokálnymi magnetickými poľami vo vnútri Galaxie až do rýchlostí pozorovaných kozmických lúčov.

V priebehu posledných desiatich rokov sa ujala hypotéza, že časť kozmického žiarenia sa tvorí mimo našej Galaxie. Existovali silné, aj keď nepriame argumenty v prospech toho, že v centrálnych oblastiach niektorých galaxií, (nevynímajúc pravdepodobne ani našu) dochádza ku gigantickým výbuchom, ktoré sú zdrojom vysokenergetickej zložky kozmického žiarenia a čias - točne aj častíc s pomerne nízkou energiou. Táto hypotéza bola nedávno podporená objavom galaxie, ktorá asi pred 1,5 mil. rokmi bola miestom takéhoto výbuchu.

Názor, že kozmické žiarenie vzniká pri výbuchoch v galaxiách, sa zakladá na výsledkoch rádi astronomických pozorovaní. Prvý zdroj rádiového žiarenia mimo slnečnej sústavy bol objavený r. 1946 v súhvezdí Labute. V dvoch nasledujúcich rokoch boli objavené ďalšie : v súhvezdiach Býka, Kassiopei, Centaura a Herkula. (Pomenované boli podľa súhvezdí napr.: Cygnus A, Centaurus A a pod.). V súčasnej dobe je na rádi astronomickéj mape oblohy zaregistrované vyše 3000 objektov a dá sa predpokladať, že po ukončení terajších intenzívnych pozorovaní dosiahne ich počet asi 100 000.

V roku 1951 boli zdroje Cyg A a Cen A pomocou 5-m palomarského ďalekohľadu identifikované s optickými objektami. Fotografie ukázali, že Cyg A a Cen A sú totožné s obrími galaxiami NGC 4486 a NGC 5182. Od tej doby bolo 100 ďalších rádiových zdrojov identifikovaných s opticky pozorovanými objektami.

Mechanizmus tvorenia rádiových vln v rádiogalaxiách môže byť rôzny. Za najpravdepodobnejšiu sa pokladá mechanizmus vzniku synchrotrónového žiarenia (je totožné so žiarením vznikajúcim v pozemských laboratorných urýchľovačoch - synchrotrónoch). Toto žiarenie vzniká interakciou relativistických elektrónov (ich rýchlosť je blízka rýchlosti svetla) s magnetickým poľom. Ak sa takýto elektrón pohybuje okolo magnetickej siločiar, je urýchľovaný a vyžaruje energiu vo forme elektromagne-

tických vln. Frekvencia synchrotrónového žiarenia závisí na rotačnej energii relativistického elektrónu a na intenzite magnetického poľa, s ktorým elektrón interaguje. Elektromagnetické žiarenie frekvencie rádiových vln vzniká, keď energia elektrónov leží v medziach 1 - 25 BeV a intenzita mag. poľa je rádu 10^6 gaussov. Takýmito podmienkam vyhovujú procesy v rádiogalaxiách, aj keď elektróny s takýmito energiami sa nachádzajú v okrajovej oblasti skutočného rozloženia energie elektrónov v pozorovaných procesoch v rádiových galaxiách. Napríklad v galaxii M87 dosahujú energie elektrónov hodnotu 10^7 BeV. Elektricky nabitá častica s tak vysokými energiami opúšťa mag. pole "materskej" galaxie a odletuje do medzigalaktického priestoru. Práve tieto častice spolu s časticami vznikajúcimi pri podobných výbuchoch v našej Galaxii tvoria tok primárneho kozmického žiarenia, ktoré dopadá na Zem.

Postupne si hypotéza galaktických výbuchov získavala uznanie a v 50 - tých rokoch bol urobený pracovný model dovolujúci interpretovať nové fakty. Napríklad v roku 1953 bol urobený objav, že zdroj Cyg A sa skladá z dvoch oddelených zdrojov vzdialených od seba asi 100 tisíc svetelných rokov. Ďalšie pozorovania ukázali, že tento jav, tzv. rádiodublet, je skôr pravidlom ako výnimkou medzi rádiogalaxiami. Predpokladá sa, že podvojnosť zdrojov je možné vysvetliť dvomi prúdmi častíc vysokej energie vyvrhnutými "materskou" galaxiou pri výbuchu. Títo prúdy podľa zákona zachovania momentu hybnosti musia sa tieto dva prúdy pohybovať od stredu galaxie v opačných smeroch. Unášajú sa so sebou časť magnetického poľa galaxie a pravdepodobne interagujú s magnetickým polom medzigalaktického priestoru. Pozdĺž týchto prúdov vzniká synchrotrónové žiarenie. Toto dosahuje najväčšiu intenzitu na koncoch prúdov, pretože tam sú najhustejšie siločiarly magnetického poľa. Preto je možné pozorovať dva oddelené zdroje žiarenia.

Aj keď bolo urobené mnoho pozorovaní popísaných objektov v rádioastronomii, ktoré podporovali hypotézu výbuchov v galaxiách, stále chýbali pozorovania týchto úkazov v optickom obore elektromagnetického žiarenia. Až v roku 1961 Lynds v Green Banku urobil objav, ktorý sa stal silným argumentom v prospech hypotézy galaktických výbuchov. Aby mohol identifikovať zdroj 3C-231 s optickým objektom, fotografoval oblasť okolo obrejšieho spirálnej galaxie M81, ktorá skôr bola považovaná za tento rádiový zdroj. Pri týchto prácach objavil skupinu galaxií zoskupených okolo M81. Presnými meraniami zistil, že rádiové žiarenie označené ako zdroj 3C-231 pochádza od malej galaxie M82 neobyčajného tvaru. Na starších fotografiách z roku 1910 nebolo možné túto galaxiu rozlíšiť na jednotlivé hviezdy, akokoľvek vo vzdialenosti v ktorej sa M82 nachádza, by mali byť jednotlivé hviezdy vo vnútri galaxie rozlíšiteľné. Tieto fotografie však ukázali, že galaxie vretenovitého tvaru pretínajú intenzívne prachové útvary tvaru pásov a na obidvo strany vretena vystupujú jasné vláknovité štruktúry. V roku 1949 bola galaxia znova fotografovaná 5- m ďalekohľadom, ale až do Lyndsovho objavu v r. 1961 neboli robené žiadne detailné pozorovania tohoto objektu, aj keď na novších fotografiách bola popisovaná štruktúra galaxie oveľa zreteľnejšia.

Sandage fotografoval galaxiu M82 vo svetle H alfa čiar. Tieto pozorovania ukázali niektoré nové vlastnosti tohoto objektu. Útvary, ktoré vyzerali na starších fotografiách ako

vlákna, sa ukázali byť obrovskými vodíkovými hmotami, rozprestierajúcimi sa asi do vzdialenosti 14 tisíc svetelných rokov na obe strany od galaktickej roviny. V tej dobe Lynds robil spektrálnu analýzu galaxie M82. Pri polohe štrbiny spektrogramu pozdĺž vláken (kolmo na galaktickú rovinu), objavil čiary vodíka, síry a dusíka. Podrobné štúdium spektra ukázalo, že čiary majú malý sklon voči porovnávacím čiaram spektra. Tento sklon mohol znamenať, že vláknové útvary sa na jednej strane približujú, na druhej strane vzdalujú od Zeme. Ešte nikdy nebola pozorovaná rotácia v tak veľkom merítku v smere kolmom na disk galaxie. Tento sklon spektrálnych čiar bolo možné interpretovať buď ako rozpínanie, alebo zmršťovanie podľa toho, či je k Zemi bližšie severná alebo južná časť galaxie. Pomocou tmavého pásu absorbujúcej vrstvy v rovine galaxie, bolo možné určiť, že bližšie k Zemi je severná strana galaxie a teda vlákna sa na obidve strany od galaxie vzdalujú. Lynds na viac objavil, že sklon spektrálnych čiar pozdĺž vláken sa zväčšuje. To sa dá vysvetliť lineárnym vzrastom rýchlosti vzdalovania vyvrhutej hmoty so vzdialenosťou. Sklon galaktickej roviny k zornému lúču bol vypočítaný na $8^{\circ}23'$ a rýchlosť vzdalovania hmoty na koncoch vláken na 1000 km/s. Lineárny vzrast rýchlosti so vzdialenosťou je možné vysvetliť tým, že všetky časti vlákna sa museli od počiatočnej polohy do dnes pozorovanej, dostať za rovnakú dobu. To znamená, že všetka hmota vláken musela byť po určitú dobu v jadre galaxie M82, čo je silný argument hovoriaci v prospech myšlienky, že vlákna sú produktom jediného obrovského výbuchu v jadre galaxie. Závislosť rýchlosti na vzdialenosti od galaktickej roviny ukázala, že výbuch sa dostal do dnes pozorovaného štádia asi za 1,5 mil. rokov. Ak k tomu pripočítame vzdialenosť M82 - 10 mil. svetelných rokov, zistíme, že sa odohral asi pred 11,5 miliónmi rokov.

Fotografie M82 ukázali veľký nedostatok horúcich modrých hviezd vo vnútri galaxie. V blízkom okolí týchto hviezd dochádza totiž pôsobením ultrafialovej zložky žiarenia k ionizácii medzihviezdneho vodíka. Akým spôsobom teda dochádza k ionizácii vodíka vo vláknach, keď nebola zistená prítomnosť týchto hviezd v galaxii? Je možné predpokladať, že včase výbuchu sa vytvorilo veľké množstvo relativistických elektrónov schopných generovať nielen rádiové, ale aj silné ultrafialové žiarenie. Táto myšlienka, aj keď dávala jediné možné vysvetlenie ionizácie vodíka, nebola zatiaľ potvrdená žiadnym odpoveďajúcim pozorovaním. V roku 1962 Johnson získal štyri snímky M82 v modrej časti spektra. Všetky štyri snímky naexponoval na jeden papier, čím zvýšil kontrast fotografie natoľko, že sa stali viditeľné veľmi slabé jemné vlákna nad severnou i južnou stranou disku. Neskoršie Sandage urobil niekoľko takýchto snímkov, na ktorých bolo pozorované "modré" žiarenie vonkajších vláken. Bola otázka, či toto žiarenie je podmienené synchrotronovým mechanizmom. Je dobre známe, že synchrotronové žiarenie dáva silne polarizované svetlo. Jeho elektrický vektor je kolmý na smer siločiar magnetického poľa. Pomocou polarizačného filtra by teda bolo možné zistiť nielen existenciu synchrotronového žiarenia, ale aj smer siločiar magnetického poľa galaxie. Konečne v roku 1964 boli urobené polarizačné snímky tohto objektu. Na nich bola zaznamenaná silná polarizácia svetla vláken. Ukázalo sa, že M82 má silné magnetické pole a jeho siločiaary smerujú hlavne pozdĺž osi rotácie na oboch stranách

disku. Predbežné merania ukázali, že proces synchrotrónového žiarenia dáva dostatok energie potrebnej k ionizácii vodíka a tým po rekombinácii aj možnosť vzniku charakteristickej emisnej čiary H alfa. Túto skutočnosť môžu potvrdiť mimoatmosférické pozorovania prevádzané z družíc.

Galaxia M82 zatiaľ nepochybne predstavuje výnimku, ale tým viac ju možno považovať za typickú rádiogalaxiu. Napríklad aj keď teraz nie sú pri nej pozorované dva diskretne zdroje rádiového žiarenia, môžu sa objaviť v neskorom štádiu jej vývoja. Najviac stojí za povšimnutie, že vlákna, ktoré sú hlavným príznakom výbuchu v tejto galaxii, sú viditeľné aj v iných rádiogalaxiách. Vysokoenergetické prúdy plynu sú pozorované aj v takých galaxiách - silných rádiových zdrojoch - ako je galaxia M87 i v "kvasistelárnych" rádiových zdrojoch 3 C 48 a 3 C 273. Zvlášť zaujímavým príkladom je špirálna galaxia NGC 4651, identifikovaná ako zdroj 3 C 275.1 : dva veľmi rýchle plynné prúdy sa rozprestierajú na oboch stranách špirálnych ramien do vzdialenosti asi 50 tisíc svet. rokov.

Astronómovia pristúpili k štúdiu vybuchujúcich galaxií. Ale už v tomto počiatočnom štádiu výskumu je jasné, že je treba prijať úplne nové myšlienky, aby bolo možné objasniť procesy, ktoré vedú k uvoľneniu tak neobyčajne veľkých energií pri galaktických výbuchoch. Synchrotronový model umožnil stanoviť celkovú energiu, ktorá sa musela uvoľniť pri takom výbuchu. V prípade M82 ide o energiu 10^{57} až 10^{58} ergov, u zdrojov Cyg A, Her A, Hya A dosahuje uvoľnená energia rádu až 10^{62} ergov. Termojaderná reakcia uvoľňuje asi 6×10^{18} ergov energie na každý gram hmoty. Pritom koeficient premeny termojadernéj energie na energiu rádioných vln nie je väčší ako 1%. Ak predpokladáme termojadernú reakciu ako pôvodcu pozorovaných procesov, musí byť hmota vstupujúca do reakcie veľká ako 10^{12} hmôt Slnca. Pri teoretickom predpoklade 100% premeny je treba 10^9 hmôt Slnca čo predstavuje hmotu priemernej galaxie.

Je jasné, že dobre známe zdroje energie sú nevhodné pre vysvetlenie takýchto procesov. Novú možnosť vysvetlenia predkladá F. Hoyle a W. Fowler. Podľa ich modelu, pri kondenzácii akejkoľvek hmoty sa musí uvoľňovať potenciálna energia gravitácie. Pri určitých podmienkach takéto uvoľňovanie môže prebiehať neobyčajne efektívne, lebo potenciálna energia je priamo úmerná kvadrátu hmoty a nepriamo úmerná konečnému priemeru. V limitnom prípade táto teória "gravitačného kolapsu" predpokladá, že ak zmršťovanie nebude zastavené odstredivou silou rotácie kondenzujúcej hmoty, potom táto hmota prestáva byť viditeľná.

"Zmiznutie" hmotného objektu "vlastným polom gravitácie" predpovedá Einsteinova obecná teória relativity. Detailne bola táto myšlienka rozpracovaná K. Schwarzschildom. Zakrivenie priestoru v danom mieste (závislé na veľkosti hmoty v besprostrednom okolí tohoto miesta) môže byť tak veľké, že sa priestor uzavretí a izoluje to čo sa v nom nachádza od ostatného Vesmíru. Konečný polomer takéhoto "uzatvorenia" (tzv. gravitačný Schwarzschildov polomer) je daný výrazom $2GM/c^2$, kde G je gravitačná konštanta, M hmota a c rýchlosť svetla. Pri stlačení hmoty do tohoto polomeru sa uvoľní energia $1/2 Mc^2$. Takýto proces je 100 krát efektívnejší ako termojaderná reakcia. Energia 10^{12}

ergov by mohla byť uvoľnená pri kolapse 10^8 slnečných hmôt do gravitačného polomeru.

Dnes ešte nie je možné povedať aký je mechanizmus premeny gravitačnej energie pri kolapse na energiu relativistických častíc, ktoré by generovali pozorovanú rádiovú emisiu.

V každom prípade objav vybuchujúcich galaxií dáva astronómom i fyzikom úlohy základného významu. Pozorovania v budúcich rokoch môžu aspoň čiastočne osvetliť záhadu pozorovaných javov, ktoré predstavujú procesy uvoľňovania energie mnohokrát mohutnejšie, ako všetky ostatné, ktoré doteraz človek poznal.

Podľa Priroda 7/1965 preložil J. Zverko

Jiří Grygar

Stavba Galaxie

Poznávání stavby Galaxie započalo Herschelovými výzkumy o rozložení hvězd a pokračovalo pak zejména pracemi Seeliger a Kapteyna. Vyvrcholením tohoto období je bezesporu Oortův objev galaktické rotace ve 30. letech našeho století a později Baadeho rozřídění hvězd na příslušníky I. a II. populace. V celém tomto dlouhém období se výzkum soustřeďoval na samotné hvězdy v Galaxii, zatímco druhé období je charakterizováno zvětšeným zájmem o mezihvězdnou složku hmoty Galaxie. Na tom má největší zásluhu poválečný rozvoj radioastronomie, zvláště pak po objevu první rádiové emisní čáry, proslulé vodíkové čáry o vlnové délce 21 cm.

V obou etapách studia Galaxie nelze přehlédnout podíl holandských astronomů, kteří i dnes svými pracemi si udržují v tomto oboru výsadní postavení. Bylo tudíž zcela logické, že se lonské sympozium IAU a URSI nazvané "Radioastronomie a galaktická soustava", konalo právě v Holandsku, v přímořském letovisku Noordwijk poblíž Leidenu. Sympozium, jež bylo patrně nejvýznamnějším astronomickým zasedáním r. 1966, se zúčastnilo na 100 odborníků ze všech kontinentů. Výsledky symposia znamenají jak zpřesnění dosavadních představ, tak i principiálně nové pohledy na stavbu Galaxie.

Spirální struktura Galaxie

Optické a rádiové údaje o průběhu spirálních ramen v Galaxii se postupem doby stále více sblíží. Úhel mezi tečnou ramene a směrem ke galaktickému centru činí asi 80-83°. Vnitřní rameno, vzdálené 4 - 6 kpc od centra, má touž hustotu plynu jako vnější rameno ve vzdálenosti 15 kpc od centra. Slunce je podle nových údajů vzdáleno asi 10 kpc od centra Galaxie. Rádiové mapování Galaxie se provádělo dvěma obřími radioteleskopy, pro jižní Mléčnou dráhu 64m přístrojem v Parkesu (Austrálie) a pro severní Mléčnou dráhu 91m teleskopem v Green Banku v Západní Virginii (USA). Překrytí obou přehlídek ukazuje na dobrou návaznost měření amerických i australských radioastronomů. Teleskopy v Dwingeloo (Holandsko) a nový přístroj v Argentině přinesly zpřesněný průběh rotační křivky Galaxie ve vzdálenosti od 3 kpc do 10 kpc od centra. V tomto intervalu rotační rych -

lost zvolna roste od 220 do 270 km/s.

Zajímavé je porovnání s obdobnými studii pro nejbližší spirální galaxii M 31 v souhvězdí Andromedy. Její vzdálenost činí 600-700 kpc a hmota $2,4 \times 10^{11}$ slunečních hmot, což je dvakrát až čtyřikrát více než hmota naší Galaxie. Vzdálenost jednotlivých spirálních ramen v M 31 činí nanejvýš 2,4 kpc a neutrální vodík tam tvoří jen asi 1 % hmoty, zatímco v Galaxii je jeho zastoupení odhadováno na 3 - 10 % hmoty soustavy. Na rozdíl od našeho systému se zatím nedaří ztotožnit hvězdná a plynná spirální ramena v galaxii v Andromedě.

Ke značnému posuvu názorů dospěly teorie o udržování spirální struktury. Řadu let byly v popředí magnetohydrodynamické úvahy o tom, že spirální ramena jsou výsledkem působení magnetických sil, kdy siločáry magnetického pole jsou zamrzlé do mezihvězdného plynu - plazmy. Poněvadž však nová měření optické polarizace a Faradayovy rotace v rádiovém oboru vedou k průměrné intenzitě magnetických polí v Galaxii pouze 5×10^6 gaussů, znamená to, že magnetické síly nemohou postačit k vytváření či udržování spirální struktury.

A tak se "veřejné mínění" opět přiklání ke stanovisku nedávno zesnulého prof. Bertila Lindblada, že je to přece jen gravitace, jež je odpovědná za spirální strukturu. Současné domněnky vycházejí z předpokladu, že Galaxie byla zpočátku tenkým osově symetrickým diskem tvořeným hvězdami. Malé změny v prostorové hustotě hvězd disku vedou ke vzniku gravitačních vln, jež jsou kvazistacionárním jevem. Gravitační vlny způsobí přerozdělení mezihvězdného plynu se zhuštěním právě tam, kde pozorujeme spirální ramena. Tento plyn je ovšem stavební látkou pro vznik žhavých mladých hvězd třídy OB, typických příslušníků spirálních ramen. K tomu, aby gravitační vlny měly potřebnou intenzitu, stačí fluktuace hustot hvězd, odpovídající rozdílům v prostorové rychlosti hvězd o pouhých 10-15 km/s. Fyzická příslušnost těles ke spirálním ramenům je tudíž jev efemérní, avšak samotný spirální vzhled galaxie zůstává zachován.

Podporou teorie je jak pozorovaná rotační křivka pro naši Galaxii, kde jsou patrné odchylky od kruhového pohybu dosahující až 40 km/s, tak i pozoruhodné výpočty prof. B. Strömgrena o minulosti dvaceti vybraných hvězd spektrálních tříd B8 a B9. Tyto hvězdy jsou 100 až 200 milionů let staré a jestliže tedy určíme jejich galaktické dráhy v tomto období, dostaneme také polohy míst, kde vznikly. Strömgrenovy výpočty na velkém samočinném počítači ukázaly, že 17 zkoumaných hvězd pochází ze "slunečního" spirálního ramene a 3 z Perseova ramene. Lze očekávat, že touto metodou bude možné nalézt polohu spirálních ramen v Galaxii před několika otáčkami.

Jádro Galaxie

Stále přesvědčivěji je potvrzována Ambarcumjanova myšlenka o zvláštní kosmogonické úloze galaktických jader. Jádrem naší Galaxie je patrně rádiový zdroj Sagittarius A, jehož lineární průměr je pouhých 10 pc a hmota 10^6 Sluncí. Magnetické pole v této oblasti je řádu 10^6 gaussů. Vzhledem ke značné intenzitě pole lze očekávat, že jádro bude zdrojem synchrotronového záření. Vodík v oblasti centra je zcela ionizován až do

vzdálenosti 85 pc, ačkoliv se tam vůbec nenacházejí žádné žhavé hvězdy. Prof. Pikelnér soudí, že ionizační energie se získává gravitační kontrakcí plynných mračen; jiní badatelé zase uvažují o srážkách oblaků mezihvězdného plynu či rázových vlnách šířících se z jádra. Přitom se hromadí důkazy o tom, že před 10^7 lety došlo v jádře Galaxie k mohutnému výbuchu, jehož dnešním důsledkem jsou prudké pohyby mračen mezihvězdné hmoty v prostoru galaktického centra.

Mezihvězdný vodík a další prvky

Oblasti ionizovaného vodíku lze sledovat díky spojitému záření na vlnách pod 50 cm. Záření je výsledkem volně-volných přechodů elektronů při jejich přiblížení k iontům vodíku. Volné elektrony budou být ovšem též urychleny magnetickým polem a vysílat sychrotronové záření, nebo naopak zachyceny na vysokých hladinách vodíkového atomu a vysílat čárové spektrum při přeskokcích mezi hladinami. Tyto čáry, vznikající při přeskokcích mezi 110.-109., 157.-156., 159.-158. a 167.-166. hladinou, byly skutečně pozorovány na vlnových délkách mezi 16 až 19 cm.

Tak byl zjištěn překvapující rozdíl o 12 km/s v radiální rychlosti mlhoviny v Orionu proti rychlostem hvězd do mlhoviny ponořených. Gradient hustoty plynu v mlhovině svědčí pro stáří mlhoviny menší než 10 000 let, zatímco řečené hvězdy jsou aspoň dvacetkrát starší. Jakýmsi východiskem z těchto rozporů je hypotéza "vroucích globulí", kdy s povrchu gravitačně se hroutících globulí "vyvěře" ionizovaný vodík, zatímco samotná globule se dále smršťuje na protohvězdu.

Na sympoziu v Nordwijku byly při té příležitosti vysloveny pochyby o dosud uváděných teplotách vodíku v mezihvězdném prostoru. Kanadští radioastronomové soudí na základě měření absorpční čáry 21 cm, že teplota neutrálního vodíku je v rozmezí 800-1000 K (dosud 100 K) a ionizovaný vodík má prý pouze 6 000 K (dosud 10 000 K). Mlhoviny obdobné zmíněné mlhovině v Orionu jsou na obloze nápadným zjevem, avšak jejich přínos k úhrnné hmotě mezihvězdného prostředí je poměrně nepatrný. Relativní rozdělení vodíku podle hmoty v mezihvězdném prostoru vyjadřuje tabulka :

objekt	relativní zastoupení
malá mračna s hmotou menší než 4 hmoty Slunce	3 %
velká mračna s hmotou větší než 4 hmoty Slunce	7 %
spojitě rozložený plyn v mezihvězdném prostoru	90 %

Z jiných prací vyplývá, že rozložení neutrálního vodíku se v podstatě shoduje s rozložením ionizovaného vápníku (Ca II).

Objevem rádiových čar hélia v r.1966 se naskytla možnost zabývat se i rozložením a četností hélia v mezihvězdném prostoru. To dává do budoucna dobré vyhlídky pro úvahy o vývoji Galaxie a jejích složek. Zatím je ovšem třeba vyčkat, až se nashromáždí aspoň minimální pozorovací materiál. Pokud jde o původ mezihvězdného plynu, stačí výbuch jedné supernovy za

století k tomu, aby byla vysvětlena dosavadní hustota i chemické složení rozptýlené hmoty v Galaxii.

Melekuly v mezihvězdném prostoru

Objev rádiových čar hydroxylu v r.1964 na vlnách kolem 18 cm byl zároveň prímým důkazem existence molekul v mezihvězdném prostředí. Molekuly OH se koncentrují v malých útvorech a jejich vyzářování má skoro záhadnou povahu. Poměrně nejpřijatelnější vysvětlení, které je po ruce, tvrdí, že jde o mechanismus stimulované emise záření, kde budícím kmitočtem je ultrafialové záření vodíku (čára Lyman alfa) v okolní emisní mlhovině. Výskyt molekul OH nepřímo prozrazuje, že v těchto oblastech se vyskytuje i molekulární vodík (H_2). Detekci čar H_2 lze očekávat v daleké ultrafialové oblasti 1 100 - 1 200 Å, přirozené spektrografy, jež budou vyneseny za hranice zemské atmosféry.

Rádiové záření z vysokých galaktických šířek a kosmické paprsky

Celá Galaxie je obklopena rádiově zářícím halem, jež asi zadržuje relativistické elektrony, které pak pozorujeme v podobě kosmického záření. Kromě toho existují výběžky synchrotronového záření do vysokých galaktických šířek, známé jako polární ostruhy. Ostruhy jsou rozhodně jevem, který souvisí s celkovou stavbou Galaxie, a nikoliv pozůstatkem supernov, jak se někdy navrhovalo.

Nejprékvapivější novinkou je společný objev Leidenských a Groningenských astronomů, že z vysokých galaktických šířek se velkou rychlostí blíží ke galaktické rovině zřetelná mračna neutrálního vodíku. Jejich rychlosti jsou v rozmezí od 30 do 180 km/s a zejména ty nejrychlejší směřují přímo k nám. Je velmi pravděpodobné, že jde o mezigalaktickou hmotu, která prostě padá do naší Galaxie. Záření oblaků na 21 cm je podle Šklovského způsobeno excitací vodíku vlivem čáry Lyman alfa vysílané žhavými hvězdami v naší Galaxii.

Prof. Ginzburg z Moskvy soudí, že Galaxie si sama "vyrábí" převážnou část kosmického záření. Částice s energií do 2 GeV prý přicházejí ze Slunce, částice s energií do 10^8 GeV pocházejí z Galaxie (produkty výbuchu supernov) a pouze vzácně se vyskytující částice s energií kolem 10^{10} GeV jsou extragalaktického původu. Procentuální uastoupení jader v kosmickém záření je podle Ginzburga na hranicích zemské atmosféry takové, jaké udává tabulka :

jádro	at. č.	rel.zastoupení
H	1	70 %
He	2	20 %
Li - F	3 - 9	6 %
těžší	10	4 %

Zdroje záření X

Zdokonalení pozorovací techniky v oboru paprsků X umožnilo identifikovat první dva zdroje rentgenovského záření v Galaxii. Před třemi lety byl ztotožněn zdroj v Byku s Krabí mlhovinou - pozůstatkem supernovy z r.1054. V r.1966 raketoví astronomové z Cambridge, Massachusetts a optičtí pracovníci n. Mt.Palomaru a v Tokiu identifikovali nejsilnější zdroj X - paprsků na obloze s hvězdným objektem 12,6^m. Zdroj má polohu $\alpha = 16^{\text{h}} 17^{\text{m}} 04^{\text{s}}$, $\delta = -15^{\circ} 31' 13''$ a barevné indexy B-V = + 0,3 a U.B = - 0,9. Optická jasnost zdroje v posledních 70 letech (podle prohlídky desek Harvardovy observatoře) kolísala až o 3^m a jeho vzdálenost není asi větší než 100 pc. Spektrum obsahuje pouze emisní čáry náležející H a He, jakož i C a N. Svým vzhledem připomíná spektrum staré novy nebo proměnné typu SS Cygni. Spojité spektrum nasvědčuje fantasticky vysoké teplotě emitujícího zdroje kolem 50 milionů K a lze očekávat, že září i v rádiovém oboru. Detekce rádiového záření se však zatím nezdařila.

Zdroj ve Štíru je patrně představitelem nového typu vesmírných objektů, kterým se provizorně říká extary. Američtí badatelé zjistili dosud na 20 izolovaných zdrojů paprsků X, které možná všechny patří k této třídě. Kromě toho byly už všem identifikovány extragalaktické zdroje X paprsků (peku-liární galaxie M 87 v Panně, hnízdo galaxií ve Vlaseu Bereniky). Objev extarů naznačuje, že další vývoj názorů na stavbu Galaxie může být velmi pronikavě ovlivněn pozorováním ve dříve nepřístupných oborech spektra, podobně jako to vidíme na dnes již klasickém příkladu radioastronomických metod. To znamená jednak potřebu dalších setkání toho typu, jakým bylo symposium, o němž zde referujeme.

(Předneseno na výroční schůzi pobočky ČAS v Hradci Králové).

Pavel Příhoda

Podrobnější výsledky Luny 10

V článku se věnujeme výsledkům, které se týkají Měsíce. Zopakujeme si napřed některé údaje o první umělé družici Měsíce. Luna 10 byla vypuštěna 31.března 1966 a nosná raketa uvedla družici na parkovací dráhu. Nové zrychlení, které bylo družici uděleno, ji navedlo na dráhu k Měsíci. Byla při tom dosažena maximální rychlost 10,87 km/sec. Dráha byla korigována 1. IV.1966, když byla Luna 10 240 000 km od Země. 8 200 km od Měsíce byla družice orientována brzdícím raketovým motorem směrem na střed měsíčního kotouče. 3.IV.1966 ve výši 1 000 km nad Měsícem byl motor zapjat a z 2,1 km/sec. zbrzdil sondu na rychlost 1,25 km/sec. Luna 10 se tak dostala na plánovanou dráhu kolem Měsíce - selenocentrickou - a stala se první umělou družicí Měsíce. Od vlastní družice s měřicí aparaturou se pak odědil raketový motor s bloky řízení. Selenocentrická dráha měla na začátku nad povrchem Měsíce výšku 350 km v pericentru dráhy (v periseleniu). Aposelenium dráhy bylo 1 017 km nad

povrchem Měsíce. doba oběhu byla 178 minut a sklon dráhy k měsíčnímu rovníku na počátku 72° .

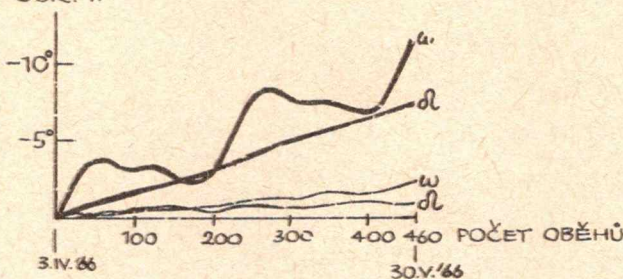
Prosincové číslo časopisu Kosmičeskije issledovanija přineslo několik článků s podrobnějšími výsledky této sondy.

Určení gravitačního pole Měsíce z pohybu Luny 10

Kdyby směr sil vznikající přitažlivostí Měsíce nad libovolným místem Měsíce směřoval do jednoho bodu (kdyby, jinými slovy, gravitační pole Měsíce bylo centrální) a kdyby pohyb satelitu nebyl rušen Zemí, Sluncem a planetami, pak by drahou družice byla keplerovská elipsa. Gravitační pole Měsíce však není podle výsledků Luny 10 centrální, což způsobuje změny dráhy. Další změny působí Slunce a Země. Tyto poslední vlivy jsou dobře známy. Předmětem zájmu jsou především poruchy dráhy, způsobené gravitačním polem Měsíce, jehož parametry bylo možné zjistit z těchto poruch.

Selenocentrická dráha sondy byla studována v pravotočivé souřadném systému, jehož počátek je ve středu měsíčního tělesa. Pro okamžik to směřuje osa x k Zemi, z k severnímu pólu Měsíce, osa y je na předchozí kolmá. Rovina xy tedy leží v rovině rovníku Měsíce, xz je rovinou středního poledníku Měsíce, pro výše uvedený okamžik. Směry os jsou nepohyblivé vzhledem ke hvězdám. K popisu pohybu sondy jsou použity elementy dráhy: velká poloosa a , excentricita dráhy e , sklon dráhy i , délka výstupného uzlu Ω , úhlová vzdálenost periselenia od uzlu ω , čas průchodu uzlem T_{Ω} . Necentrálnost gravitačního pole Měsíce působí změny těchto elementů. Obraz 1 ukazuje změny ω , Ω vlivem gravitačního pole Měsíce (silnou čarou). Slabé čáry naznačují změny ω , Ω gravitačním působením Země a Slunce. Vliv planet je zde bez významu.

OBK. 1.



Z grafu vidíme změnu prvků dráhy. Ω roste, také změna ω je celkově vzestupná. Zajímavé jsou cyklické změny ω . Po 460 obězích poruchy dosáhly hodnot

$$\Delta \Omega = - 7,07$$

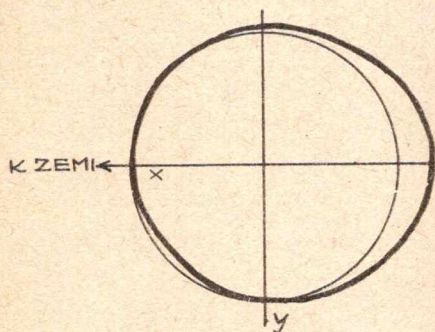
$$\Delta \omega = - 11,08$$

Změna sklonu dráhy za toto období $\Delta i \approx 0,015$ a excentricity

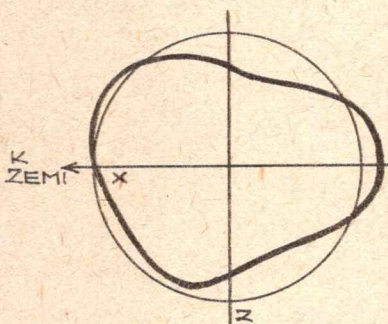
$\Delta e \approx 0,003$. Vzdálenost sondy po jednom oběhu má v délkové míře průměrné změny $|\Delta r| \approx 0,75$ km.

Poruchy vlivem Země a Slunce jsou podstatně menší. Za 460 oběhů: $\Delta \Omega = -1$, $\Delta \omega = -2$; tyto poruchy zmenšují excentricitu dráhy. Protože velká poloosa se při tom téměř nemění, znamená to, že výška sondy nad Měsícem v periseleniu roste. Poruchy od Země a Slunce na sondu jsou asi pětikrát až šestkrát menší než poruchy způsobené tím, že měsíční tíhové pole není centrální. Jaký je celkový tvar tohoto pole, ukazuje obraz 2. Srovnávací kružnice představují hodnotu gravitačního potenciálu pro vzdálenost od středu Měsíce $r = 1\,738$ km a pro bod ve středu měsíčního kotouče. Křivky vynesené silnou čarou znamenají úroveň gravitačního potenciálu Měsíce v různých směrech. Jsou zvětšeny 1 000krát v radiálním směru. Obraz 2a představuje řez rovinou rovníku Měsíce, osy na obr. 2 mají jiný význam než osy definované na počátku článku. 2b řez rovinou nulového poledníku, 2c řez kolmý na směr pohledu od Země, jdoucí středem Měsíce.

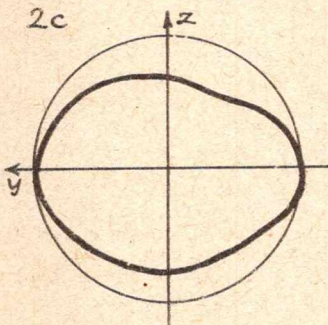
OBR. 2a



2b



2c



Je zřetelný hruškovitý tvar potenciálové hladiny, který nabývá větších hodnot na odvrácené straně Měsíce. Nižší hodnoty gravitačního potenciálu jsou v oblasti polů. Na tyto výsledky je však nutno se dívat jako na předběžné; budou dále zpřesněny a doplněny, ale zásadní změny se patrně nevyskytnou.

Sledování rentgenového záření Měsíce

Rentgenové záření Měsíce může vznikat opětným vyzařením (reemisií) rentgenových paprsků od Slunce nebo jejich rozptylem na povrchu Měsíce. Také částice slunečního větru a elektrony chvostu magnetosféry Země mohou toto záření vyvolat. (Vzpomenme si, že rentgenové záření sami "vyrábíme" proudem elektronů, dopadajícím na tuhou látku.) Může také vznikat rozpadem měsíčních radioaktivních látek - ať už přirozených nebo zaktivovaných kosmickými paprsky. Největší vliv na vznik Rentgenova záření Měsíce má fluorescence, která nastává dopadem rentgenových paprsků od Slunce. Především atomy křemíku, hliníku a hořčíku na měsíčním povrchu pohlcují sluneční záření a vyzařují na delších vlnových délkách než záření přijaté. Křemík má fluorescenci na vlnové délce 7,11 Å, hliník 8,3 Å, hořčík 9,87 Å.

Luna 10 byla vybavena Geigerovými počítacími fotonů, které byly citlivé na uvedené spektrální čáry a namířené různými směry. Protože ale stanice nebyla orientována, jsou výsledky týkající se přímo Měsíce značně nejisté. Zdá se, že Měsíc vyzařuje méně než 3 až 5 fotonů rentgenového záření na čtvereční centimetr a steradián. Když Luna 10 prolétala oblastí radiace souvisící s chvostem zemské magnetosféry, bylo zaznamenáno 50 impulsů/cm².sec.sterad. Tyto impulsy působily zřejmě elektrony o energii > 40 keV. Odtud lze odvodit, že brzdné Roentgenovo záření, které vzniká změnou rychlosti (tedy i změnou směru) rychle letících elektronů v magnetickém poli, může mít tok 0,1 fotonu/cm².sec.sterad. To je nižší hodnota než očekávaný tok rentgenového záření z měsíční fluorescence.

Měření toku záření Měsíce v infračervené a viditelné části spektra.

Výsledky nedovolují učinit nové závěry, protože měřicí zařízení nebylo orientováno a bylo rušeno slunečním zářením.

Studium korpuskulárního záření

Zde se Měsíce přímo týká stanovení hodnoty albeda korpuskulárního záření. Z výsledků plyne, že Měsíc odráží 13 % na něj dopadajícího korpuskulárního záření. Je to v určitém rozporu s prací Věrnova a dalších, která došla k teoretické hodnotě 26 %. Tento rozpor může být objasněn tím, že se korpuskulární záření rozptyluje ve velkých úhlech na měsíčním povrchu a také zčásti absorbuje v měřicí aparatuře. Ze studia elektronů o energiích kolem 40 keV vyplývá, že by je mohlo udržovat v blízkosti Měsíce stálé magnetické pole intenzity 10 až 20 γ. Tento závěr není v rozporu s výzkumem magnetického pole v okolí Měsíce.