

# KOSMICKÉ ROZHLEDY

NEPERIODICKÝ VĚSTNÍK ČESKOSLOVENSKÉ  
ASTRONOMICKÉ SPOLEČNOSTI PŘI ČSAV

3-4

pří

P.Andrle

Prvé pozorované relativistické objekty

Měsíčník Priroda uveřejnil ve svém prvním čísle tohoto ročníku (1/1970) interview s prof.K.Thornem (z California Institute of Technology), který je jedním z významných současných relativistických astrofyziků. Hlavní myšlenky tohoto rozhovoru uvedeme v tomto článku.

Otázka : Jaké nejpodstatnější názory o vesmíru jako celku vznikly v kosmologii a obecné teorii relativity po Einsteinovi a Friedmanovi ?

Odpověď : Připadá mi, že nejdůležitější nové poznatky současné astronomie pocházejí z pozorování. Především je to Hubblov objev rozpínání vesmíru z roku 1929, za druhé objev reliktového záření z roku 1965 (viz Vesmír 1/1969). Objev rozpínání vesmíru byl potvrzením Friedmanovy myšlenky o nestabilním vesmíru. Reliktové záření ukázalo oprávněnost Gamovovy myšlenky o tom, že vesmír se vyvíjí od žhavého suprahustého stavu (teorie velkého třesku).

Otázka : Nalézal se v minulosti vesmír v singulárním stavu ? (O singulárním stavu mluvíme tenkrát, když některá veličina - např. hustota hmoty - nabývá nekonečné hodnoty.)

Odpověď : Domnívám se, že vesmír pravděpodobně začínal svůj vývoj ze singulárního stavu. Existuje několik velmi přesvědčivých "singulárních teorémů" (Penrose, Hawking, Geroch), které ukazují, že za určitých podmínek musí mít řešení relativistických rovnic singularitu. Použitelnost těchto pouček v reálném vesmíru je zdůvodněna izotropností reliktového záření. Proto můžeme říci, že v relativistické gravitační teorii musel mít vesmír singularitu. Dosud však nevíme, jestli dosáhla nekonečné hustoty veškerá hmota ve vesmíru. Připadá mi však, že tento problém zřejmě nedávno rozřešili sovětské fyzikové Bělinskij, Chalatnikov a Lifšic, kteří zkoumali podstatu singularity řešení relativistických rovnic a pravděpodobně dokázali, že veškerá vesmírná hmota dosáhla nekonečné hustoty.

Otázka : Domníváte se, že vesmír existoval před singularitou a že se do ní dostal z nějakého jiného stavu ?

Odpověď : Je těžké odpovědět na tuto otázku. Je možné, že na ni nebude odpověděno ani za sto let. Víme totiž velmi málo o samotné singularitě a domníváme se, že dnes nejsou žádné podmínky pro vytváření teorií o stavu před singularitou. Teprve až se vyznáme v období singularit, budeme moci dát rozumnou odpověď na otázku, co bylo před ní.

Otázka : Jak vypadal vesmír v počátečním stadiu svého vývoje ? Byl homogenní a izotropní (podle Friedmana) nebo silně anizo-

tropní (podle Misnera)?

Odpověď : Tato otázka se podobá předešlé a je těžké na ni odpovědět na základě dnešních poznatků. Vycházejí z nejobecnějších zákonitostí považují za přijatelnější Misnerovu ideu, podle které se (bez ohledu na podstatu anizotropie a nehomogenit) vesmír teprve vyvíjel k dnešní homogenitě a izotropii. Je to však pouze můj osobní názor, protože otázka o stavu vesmíru v počátečních etapách vývoje je dnes zcela otevřená.

Otázka : Bude možné rozhodnout pomocí astronomických pozorování, který z předešlých modelů odpovídá skutečnosti ?

Odpověď : Domnívám se, že během nejbližších deseti let bude možné dokázat, jaký byl stav vesmíru na počátku jeho vývoje a v souvislosti s tím i získat určité náhledy na podstatu vesmíru před singulárním stavem.

Otázka : Vaše práce znamenají významný přínos pro teorii pulsarů. Myslíte si, že je s konečnou platností dokázáno, že pulsary jsou neutronové hvězdy ?

Odpověď : Dovolte, abych se nejdříve zmínil o názorech druhých pracovníků na tento problém. Domnívám se, že většina z nich (ať už jde o teoretiky nebo experimentátory) považuje za dostatečně přesvědčivé důkazy, že pulsary jsou neutronové hvězdy. Před rokem prof. Drake (ředitel radioastronomické observatoře v Arecibo na Portoriku, autor celé řady experimentálních prací o pulsarech) řekl, že pokud rozumí astronomii, tak pulsary jsou neutronové hvězdy. Je však třeba vzít v úvahu, že v uplynulých deseti letech bylo v astronomii tolik podivuhodných věcí. Proto bez ohledu na mnohé přesvědčivé důkazy nelze otázku pulsarů považovat za definitivně uzavřenou. Přinejmenším však lze říci, že pulsary jsou buď neutronové hvězdy, nebo něco, co teoretici ještě nestvořili. Všechny pokusy přisoudit pulsující záření jiným známým tělesům se ukázaly zcela neudržitelnými ve světle posledních pozorování. Doplnil bych ještě svůj názor : Pravděpodobnost toho, že pulsary jsou neutronové hvězdy, je přibližně 2/3. Zůstává však pravděpodobnost 1/3, že pulsary jsou něco, co jsme dosud neznali.

Otázka : Jsou tedy pulsary prvými skutečnými relativistickými objekty ?

Odpověď : Jestliže pulsary jsou neutronové hvězdy, jsou opravdu prvými astronomy přímo pozorovanými objekty, u kterých jsou relativistické efekty velmi velké. Přitom pod pojmem velmi velké rozumím 50 % nebo více.

Otázka : Objev pulsarů umožnil reálně hovořit o neutronových hvězdách. Domníváte se, že bude objevena metoda, pomocí níž budou objeveny zcela zhroucené (kolapsované) hvězdy ?

Odpověď : Myslím, že zkoumat zcela zhroucené hvězdy je mnohem obtížnější než neutronové, a to proto, že zhroucené hvězdy nejsou schopné vysílat do vnějšího prostoru záření. Jedinou výjimkou je záření, které vzniká při akreci hmoty zhroucenou hvězdou. Je možné, že gravitační vlny (viz dále), které nedávno objevil Weber, vznikají buď při kolapsu vesmírných těles, nebo snad při srážkách zhroucených hvězd, nebo při jiných procesech, jichž se pravděpodobně suprahustá tělesa účastní. Jenomže získat informace z gravitačních impulsů objevených Weberem je mnohem obtížnější než obdržet údaje o neutronových hvězdách

ze záření pulsarů. (Pozn.: Zcela zhroutené jsou hvězdy, jejichž poloměr  $R \leq R_0$ , kde  $R_0$  je Schwarzschildův poloměr.)

Z obecné teorie relativity vyplývá, že pro vzdáleného vnějšího pozorovatele dosáhne hvězda Schwarzschildova poloměru za nekonečně dlouhou dobu. Nekonečně dlouho budou pro vnějšího pozorovatele trvat i všechny procesy na zhroutených hvězdách. Názorný význam Schwarzschildova poloměru je takovýto: Pokud hmota dosáhne Schwarzschildova poloměru, je úniková rychlost na jejím povrchu rovna rychlosti světla. O jak velké hustoty u kosmologicky malých těles jde, pochopíme z příkladu, že kdyby Země dosáhla Schwarzschildova poloměru, byl by její poloměr roven necelému centimetru.)

Otázka : Jestliže Weber opravdu zaregistroval gravitační vlny, můžeme to považovat za důkaz existence zcela zhroutených hvězd?

Odpověď : Základ tohoto důkazu už byl pravděpodobně vytvořen; ovšem malá zachvění Weberových hliníkových válců jsou příliš vratké základy. Bude ještě zapotřebí velmi velkého úsilí, než budeme pozorovat zcela zhroutené hvězdy.

Otázka : Co lze říci o současné teorii quasarů ?

Odpověď: Gunn, Bahcall a Schmidt nedávno zjistili, že některé quasary patří ke kupám galaxií. Domnívám se, že je to důkaz kosmologických vzdáleností quasarů. Tím také pravděpodobně končí spory mezi teoretiky, kteří se domnívají, že quasary se nalézají v kosmologických vzdálenostech (řádově miliardy parsec), a teoretiky, kteří zastávají názor, že quasary jsou v "nevelkých" vzdálenostech (řádově miliony parsec). Dosud však je diskutabilní stavba quasarů samých. Problémem je, "jaký stroj sídlí uvnitř quasarů". Je quasar tělesem typu nadhvězda nebo je seskupením těles? Prvou domněnku vyslovili jako první Fewler a Hoyle a silně ji podporují v SSSR Zeldovičova skupina a Ozernoj. Teorii quasarů = kupy těles podporuje několik skupin (Colgate, Gold a rovněž Fowler a Hoyle). Podle mého názoru je tato otázka zcela otevřená, ale myslím, že ji pozorování brzy pomohou rozřešit.

Otázka : Co byste mohl říci o Weberově objevu gravitačních vln a o jejich teorii ?

Odpověď : Seznámil jsem se s Weberovým pokusem v jeho laboratoři na Marylandské universitě a jako teoretik jsem se zúčastňoval diskusí na konferencích. Podle mého názoru je Weberův experimentální důkaz velmi přesvědčivý. Neumím vysvětlit současné zachvění jeho válců ničím jiným než gravitačními vlnami. Jsem však pouze teoretik a rozhodnout otázku, jestli Weber objevil gravitační vlny, mohou pouze experimentátoři. Důkaz je možné vést dvěma způsoby : Prvý je ten, že velmi zkušenými experimentátoři provede Weberovy pokusy, k čemuž je zapotřebí lidí jako Dicke (jeden z objevitelů reliktového záření). Druhou možností je zopakování pokusu druhou skupinou. Podle mého názoru nejlepším experimentátorem pro tento úkol je prof. Braginskij z moskevské university, který má velké zkušenosti i potřebné technické vybavení. Na otázku o teorii gravitačních vln poznamenám jenom toto : Nedávné teoretické výpočty Misnerovy pracovní skupiny a naše (Thorne se spolupracovníky) dokázaly bez jakýchkoliv pochybností, že podle obecné teorie relativity gravitační vlny musí existovat, musí přenášet energii a musí brzdit pohyb těles, která je vyzařují.

Závěrem se prof. Thorne zabýval otázkou experimentálního ověřování obecné teorie relativity. Řekl mj. : Teoretičtí fyzikové (včetně mne) často používají obecné teorie relativity k objasnění podstaty quasarů, pulsarů, gravitačních vln, k vytváření modelů vesmíru a pod. Z experimentálního hlediska však jsou důkazy obecné teorie relativity nedostatečně přesvědčivé a např. pozmeněné gravitační teorie (např. skalárně tenzorová teorie vytvořená Bransem a Dickem) mohou být rovněž oprávněné. Abychom byli přesvědčeni, že používáme správnou teorii, jsou potřebné velmi přesné testy k prověření obecné teorie relativity. Jsem přesvědčen, že v nejbližších deseti až patnácti letech bude možné prověřit tuto teorii s přesností  $10^{-4}$  až  $10^{-5}$  ve srovnání se současnou přesností  $1/20$ . V přítomné době existují dvě experimentální cesty : Jednak je to interferometrie pro velmi přesná měření růstu vlnových délek rádiového záření quasarů při jejich průchodu v blízkosti Slunce, jednak je to využití umělých družic (už dosavadní přesnost  $1 \text{ mm/s}$  v rychlostech a  $15 \text{ m}$  v určení polohy je velmi nadějná). V obou případech je však velmi potřebná mezinárodní spolupráce, zejména mezi SSSR a USA.

J. Sýkora

#### IAU Symposium No. 43 : Slnečné magnetické polia

Tesne po 14. Kongrese Medzinárodnej astronomickej únie, ktorý sa toho roku uskutočnil v Brightone (Anglicko), konalo sa v dňoch 31. aug. - 4. sept. 1970 v Paríži v poradí štyridsiate tretie sympozium Medzinárodnej astronomickej únie na tému - Slnečné magnetické polia. Medzi kongresom a sympoziami je podstatný rozdiel. Kongresy IAU majú masový a svojim spôsobom slávnostný charakter - zúčastňuje sa ich 2 - 3 tisíc ľudí. Väčšinu času na nich zaberajú najroznejšie ekonomické a hlavne organizačné záležitosti. Popri týchto sú v jednotlivých komisiách prezentované aj výsledky vedeckej práce.

Sympóziá majú celkom odlišný charakter. Sú zamerané monotematicky a zúčastňuje sa ich len úzky okruh špecialistov z celého sveta. Doteraz najväčšieho sympózia IAU, ktoré sa na téma Štruktúra a vývoj slnečných aktívnych oblastí konalo v r. 1967 v Budapešti, sa zúčastnilo asi 200 ľudí. Jediným účelom sympózií je prezentovať a diskutovať výsledky vedeckej práce týkajúcej sa danej témy.

Na parížskom sympóziu sa zúčastnilo asi 150 odborníkov, z toho štyria boli z Československa (Bumba, Kopecký, Tlamicha, Sýkora). Celkovo bolo prezentovaných asi 95 príspevkov, z toho 5 z ČSSR. V krátkej správe je ťažké úplne načrtnúť okruh prejednávanych otázok, prípadne zmieniť sa o všetkých zaujímavých výsledkoch. Preto len krátko.

1. Prvá schôdzka bola venovaná prístrojom a spôsobom merania magnetických polí v slnečnej atmosfére. Dnes existuje na svete 21 magnetografov, ktoré využívajú Zeemanov efekt (rozštiepenie niektorých "citlivých" spektrálnych čiar v magnetickom poli) a merajú jedným pozdĺžne a niektoré tiež priečne magnetické polia. Existuje tiež spôsob merania magnetických polí fotografickým opracovaním dvoch spektroheliogramov urobených v červe-

nom a fialovom krídle danej spektrálnej čiary. V budúcnosti sa očakáva veľký pokrok hlavne od využitia infračervených čiar, pretože Zeemanov rozštep je úmerný štvorcu vlnovej dĺžky. Pre meranie magnetických polí v korone budú využité rekombinačné spektrálne čiary tiež v infračervenej oblasti spektra, u ktorých je rozštep  $10^6$  krát väčší než pre viditeľnú oblasť.

V Tucsone (Arizona) majú od februára 1970 magnetograf, ktorý môže merať magnetické polia s rozlišovacou schopnosťou až 1/2 oblúkovej sekundy, teda asi 350 km. Vybraná oblasť môže byť skanovaná s citlivosťou až 0,4 gaussu, pritom možno zaznamenať intenzity až do 3.000 gaussov. A keď už sme pri rozlišovacej schopnosti, tak si treba zapamätať nový údaj. Hlavne v USA boli vyvinuté prístroje, ktorými možno na Slnku rozlíšiť detaily veľké 200 km.

II. Druhú zasadanie pojednávalo o interpretácii meraní magnetografov, o formovaní absorbných čiar v magnetickom poli a o maloškálových poliach. J.O.Stenflo zdôraznil, že pokusy interpretovať výsledky meraní v podobe homogénneho magnetického poľa sa ukázali byť nerealistické. Pole i v pokojnej fotosfére vykazujú jemnú filamentárnu štruktúru. Pri štúdiu poľa treba rozlišovať dva prípady - magnetickú makroturbulenciu a magnetickú mikroturbulenciu. Poukázal na problémy kvalitatívnej interpretácie meraní. Namerané hodnoty sú silne ovplyvnené (t.j. spektrálny profil čiary je ovplyvnený) Dopplerovými posuvmi, redukovanou intenzitou kontinua, saturáciou čiary, a pod.

Grigorjev a Kuklin autokorelačnou analýzou našli, že koncentrácia magnetických elementov je na hraniciach supergranulačných ciel asi 10 krát väčšia ako v iných častiach ciel. Je známe, že v miestach, kde sa stýkajú 3-4 supergranulačné cely (je tam teda zvýšená intenzita poľa), vznikajú v niektorých prípadoch aktívne oblasti.

III. V utorok odpoľudnia sa hovorilo o pozorovaní magnetických polí slnečných škvŕn a aktívnych oblastí. Podľa Schrötera a Beckersa sú radiálne zmeny magnetického poľa v škvŕne pomalšie ako sa prv predpokladalo. Na vonkajšej hranici penumbry je intenzita poľa polovičná v porovnaní so stredovou hodnotou umbrý. Zmena poľa s výškou v strede škvŕny je asi 1 gauss na 1 kilometer. Z optických pozorovaní je známa jemná štruktúra škvŕn. Predpoklad, že tmavé dots (bodky) a jasné flashes (záblesky) majú opačnú polaritu, nebol zatiaľ potvrdený. Svetelné mosty v škvŕnách majú podstatne menšiu intenzitu poľa ako ostatné okolie škvŕny. Zdá sa, že magnetické polia v poroch (zárodky škvŕn) nie je nikdy menšie ako 1.200 gaussov - je to súčasne dolná hranica, kedy škvŕna začína byť viditeľná. Schröter uvádzal výsledky, ktoré spochybňovali staršie predpoklady, že intenzita poľa je úmerná ploche škvŕny. Podobne ani teplota škvŕny nie je úmerná jej ploche a preto ani intenzita poľa nesúvisí priamo s teplotou škvŕny, t.j. s jej tmavosťou. Časové zmeny magnetického poľa sú rádu 10 gaussov/hodinu.

Stešenko našiel na hranici penumbra - fotosféra zónu o šírke 1 - 3 oblúkovej sekundy (700 - 2.000 km), kde slnečná plazma vyteká rýchlosťou asi 3 - 6 km/s. Tandberg-Hansen objavil o meraní magnetického poľa protuberancií, ktoré dávajú

pomerne nízke hodnoty 3 - 8 gaussov.

IV. V stredu ráno sa hovorilo o pozorovaní magnetických polí spojených s chromosférickými erupciami. Mayfield uvádzal, že po chromosférickej erupcii poklesne magnetická energia danej oblasti asi o  $5 \cdot 10^{31}$  ergov. Objemové charakteristiky erupcií boli prezentované v referáte Křivského. V štádiu maximálneho vývoja erupcia zaberá objem asi  $10^{28}$  cm<sup>3</sup>.

Stredajšie popoludnie bolo venované návšteve najväčšej francúzskej hviezdárne Observatoire de Paris-Meudon, hviezdárne, kde svojho času pracoval i dr. M. R. Štefánik. V ústave, ktorý svoje pracovne má prevážne v bývalých kráľovských koniarnach, je teraz zamestnaných cez 500 ľudí, z toho asi 1/4 sa zaoberá štúdiom Slnka. Dni, v ktorých sú aspoň 10-minútové úseky slnečného svitu (možno urobiť najbežnejšie pozorovanie, prípadne spektroheliogramy), je asi 250 do roka. Úplne jasných dní je len 80. Z prístrojov uvediem len obrovskú slnečnú vežu (80 cm coelostat, objektív s priemerom 60 cm a ohniskovou dĺžkou 45 m, spektrograf s ohniskom 14 m), ktorá sa využíva na štúdium jemnej štruktúry Slnka a spektrometriu, a ďalej magnetograf, ktorým, ako sa mnohí prítomní zhodli, bola zatiaľ získaná jedna z najkvalitnejších magnetických máp aktívnej oblasti.

V. Vo štvrtok boli prezentované teórie maloškálových magnetických polí. Sweet vo svojom referáte hovoril, že pokojná fotosféra je charakterizovaná magnetickým polom so siločiarami kolmými k povrchu a dosahujúcim intenzitou maximálne 5 gaussov. Nad 5 gaussov je to už aktívna oblasť (fakulové alebo fľokulové pole). Magnetický tok pokojnej oblasti je lokalizovaný hlavne v priesečikoch troch a viac supergranulí. Tieto koncentrácie majú rozmer 5-10 tis. km a sú jednej polarity. Vo vnútri ciel existuje jemná štruktúra zmiešanej polarity rozmeru asi 2.000 km. Hlavné intersupergranulárne koncentrácie dosahujú intenzitu 100 G. Aby sme si urobili predstavu o jemnej štruktúre, uvediem Sweetov výsledok, ktorý napočítal v jednej aktívnej oblasti, obsahujúcej unipolárnu škvrnu, asi 3.000 knots (uzlíkov-chumáčkov), z ktorých 2.000 bolo opačnej polarity než škvrna a 1.000 tej istej polarity. Wilson tvrdil, že jemná štruktúra je výsledkom interakcií medzi magnetickým polom, tepelnými a mechanickými silami v umbre.

VI. Posledné tri zasadania boli venované veľkoškálovej štruktúre magnetických polí a jej dôsledkom. V tejto súvislosti spomeniem spoločný referát Ambroža, Bumbu, Howarda a Sýkoru, v ktorom bolo demonštrované, že v priebehu dlhých časových období (až niekoľko slnečných cyklov) aktivita na Slnku nie je rozdelená náhodne, ale naopak, silne sú preferované určité heliografické dĺžky, preto hovoríme o tzv. aktívnych dĺžkách. Výskum týchto je dôležitý, pretože sa zdá byť jednou z najschodnejších ciest pre predpovedanie slnečnej činnosti, čo má veľký význam hlavne v súvislosti s bezpečnosťou kozmických letov. Aktívne dĺžky majú určité zaujímavé vlastnosti. Napr. pri usporiadaní synoptických máp (napr. magnetického pola, intenzity zelenej korony a pod.) kreslených povedzme v systéme caringtonovských súradníc do časovej postupnosti sa ukazujú v podstate 2 skľony týchto aktívnych pásiem, ktoré odpovedajú synodickým periodám rotácie 27 dní a 28-29 dní. Okrem toho závislosť periódy rotácie na heliografickej šírke je veľmi malá, čo je v príkrom rozpore s klasickým zákonom diferenciálnej ro-

tácie. Tieto otázky čakajú na teoretické zdôvodnenie.

Rust uvádzal porovnanie pozorovanej štruktúry koróny s vypočítanými tvarmi magnetického poľa koróny zo synoptických magnetických fotosférických máp. Súhlas bol veľmi dobrý, to značí, že metóda počítania koronálnych polí odvodená na High Altitude Observatory je dobrá.

Sympóziu vyznelo v jednoznačný záver, že na Slnku je dominujúcim systém konvektívnych pohybov - granulácia, supergranulácia, gigantické cely, ktorý je zodpovedný za generáciu, distribúciu a redistribúciu magnetických polí. Samozrejme logický je i spätný vplyv magnetického poľa lokalizovaného vo vodivej plazme na konvektívne pohyby.

Budúci pokrok slnečnej fyziky treba vidieť hlavne v pravdivej kvantitatívnej a kvalitatívnej interpretácii meraní, v ďalšom zvyšovaní rozlišovacej schopnosti prístrojov a v mimozemských pozorovaniach, ktoré dovoľia kompletizovať pozorovanie z celého slnečného spektra.

S potěšením treba konštatovať, že jedno z ďalších veľkých slnečných sympózií medzinárodnej astronomickej únie sa plne uskutoční v najbližších rokoch v Tatranskej Lomnici. Téma bude Variácie slnečnej aktivity. Pre člsl. slnečníkov to bude dobrá možnosť v čo najširšej miere prezentovať výsledky svojej práce na medzinárodnom fore.

Z. Ceplecha

#### Bolidy a pády meteoritů

Je 7. dubna 1959 večer. Ručička hodin blížící se k osmé hodině je signálem pro Miroslava Nováka, aby na observatoři v Ondřejově uváděl postupně do chodu všechny kamery určené k systematickému fotografování meteorů. Tak jako každou předchozí jasnou bezměsíčnou noc již po 2500 hodin spouští 10 kamer s rotujícím sektorem a 12 kamer pointovaných mířících do různých míst oblohy. Čtyřicet kilometrů odtud jihozápadním směrem v městě Prčice Miroslav Brož zahajuje expozici deseti pevně montovaných kamer mířících ve výšce 90 km do stejné oblasti jako kamery v Ondřejově. To však ještě nikdo netuší, že právě tato expozice a tato noc vstoupí do historie meteorické astronomie jako důležitý předěl.

Ve 20 h 30 m 20 s začíná velkolepá podívaná. Bude trvat jen 7 vteřin, ale když oslnivé světlo jasného bolidu pohasne, není docela ztraceno: na citlivých fotografických deskách je již vytvořen latentní obraz čekající na své vyvolání. Celkem deset snímků tohoto bolidu - 19 hvězdné velikosti z obou stanic a rotujícím sektorem je unikátem: jsou na nich údaje o dosud nejjasnějším vyfotografovaném meteoru.

Možnost pádu meteoritu, zřejmě ihned po přeletu bolidu, potvrzuje Marie Ježková po proměření snímků a řadě výpočtů. Oblast možného pádu mezi Sedlčany a Příbrami dává bolidu i jméno - Příbramský bolid. Snímky sledují svítící stopu průletu tělesa ovzduším od začátku ve výšce 98 km až do výšky 22 km, kde opouští zorné pole poslední kamery, a jeho jasnost je při



tom ještě značná. Pohasíná až ve výšce 13 km nad povrchem. Na snímcích, které zachycují dráhu ve výškách pod 45 km, je vidět postupný rozpad tělesa na řadu úlomků. Naexponované stopy úlomků i stopa hlavního tělesa se tak dostaly přímo do terénu do vyznačených tras. Podél nich pak následuje hledání meteoritů, které pod vedením dr.Jaroslava Rajchla a dr.Ladislava Sehnala a autora vede k úspěchu : nálezu 4 meteoritických kamenů, bronzitových chondritů, o celkové váze 5,80 kg. Snímky se tak stávají dalším a mnohem významnějším unikátem : jsou prvním případem fotograficky sledovaného pádu meteoritu. Jméno pádu - Příbram - se rázem stává známým v celém meteoritickém světě.

Až do 7.4.1970 bylo pozorování bolidů, zejména v souvislosti s pádem meteoritů, vyhrazeno náhodným svědkům těchto úkazů. I Příbramský bolid byl pozorován řadou nezkušených vizuálních pozorovatelů. Z mnoha set pozorování bylo možno vybrat několik desítek těch nejlepších a srovnat je s přesnými fotografickými záznamy. Ukázalo se, že jedno vizuální pozorování bolidu je asi 10000x méně přesné než fotografický záznam. Není divu, že se začalo uvažovat o systematickém fotografování bolidů. Na prvý pohled je zřejmá nutnost použití řady stanic pokrývajících rozsáhlejší území. A tak nezávisle a téměř současně začínají pracovat dvě sítě stanic: v Československu ( od konce r.1963) a v USA (od r.1964). Československá síť se později rozšířila i do Německa zásluhou prof.Josefa Zähringera z Max-Planck Institut für Kernphysik v Heidelbergu, a tak dnes "Evropská síť" fotografuje bolidy na ploše asi 500 x 1300 km. Stanice jsou umístěny cca po 100 km od sebe a v současné době funguje 47 stanic, z toho 20 v Československu. Síť stanic v USA, řízená dr.Richardem McCrosky ze Smithsonianovy astrofyzikální observatoře, je umístěna na rozsáhlých rovinách středozápadu; dostalo se jí názvu prairie Network - Prérijní síť. Fotografuje bolidy na ploše cca 800 x 1400 km. Cílem obou sítí je získat další fotografické údaje o pádu meteoritů, ale též systematicky sledovat všechny jasné bolidy.

Předběžné odhady, jak často bude nalezen meteorit, příslušející k vyfotografovanému bolidu, ukázaly, že by to měly být asi 1 až 2 meteority do roka v Prérijní síti. Odhad pro Evropskou síť, založený na poněkud odlišných výchozích hodnotách, též ukazoval na možnost nálezu asi jednoho meteoritu průměrně každé 2 roky. Dnes po sedmi letech funkce obou sítí je zřejmé, že toto očekávání se nesplnilo. Pátráme-li po příčinách, musíme se obrátit k předpokladům, z nichž odhad vycházel. Dříve se všeobecně soudilo, že po každém dostatečně jasném bolidu následuje vždy pád meteoritu. Z některých tradičních pramenů bylo možno vyčíst, že po každém bolidu jasnějším než 12.hvězdná velikost následuje pád meteoritu. Původ tohoto tvrzení není jasný, ale patrně nějak souvisí s vizuálními pozorováními bolidů, po nichž skutečně následoval pád meteoritů. Nedostatek pádu meteoritů pro obě sítě byl bohatě vyvážen mnohem větším počtem vyfotografovaných jasných bolidů než bylo očekáváno. A tak je zřejmé, že tyto paradoxy musely vést ke zcela novým a nečekaným výsledkům.

Pro každý meteor zachycený fotograficky kamerou s rotujícím sektorem máme možnost určit jeho hmotu dvěma nezávislými způsoby : ze světelné křivky a ze změny rychlosti při průletu ovzduším. Srovnání těchto dvou hmot (fotometrické a dynamické) nám pak umožní určit hustotu (specifickou hmotu) meteoritu

částice. Velká většina slabých meteorů vyfotografovaných Super-Schmidtovými kamerami ukázala, že hodnota takto formálně vypočtené hustoty je asi  $0,3 \text{ g/cm}^3$ . To vedlo k vytvoření modelu meteorických částic, které jsou velmi málo soudržné, jen jakési "houbičky", které se v ovzduší rychle rozpadají.

Dříve se všeobecně soudilo, že jasné bolidy, meteority a malé planety naší sluneční soustavy tvoří jeden celek. Slabé meteory byly naopak v převážné většině (ne-li všechny) považovány za produkt rozpadu komet. Pro velká meteorická tělesa, která dávají vznik jasným bolidům, se tedy očekávalo, že jejich hustoty vypočtené srovnáním fotometrické a dynamické hmoty budou zhruba v oblasti hustot meteoritů ( $\approx 3,5 \text{ g/cm}^3$  je typické pro kamenné meteority). Po zpracování prvních systematicky fotografovaných jasných bolidů se však ukázalo, že takto vypočtená hustota je též okolo  $0,4 \text{ g/cm}^3$ . Všechny paradoxy vyplývající z práce obou sítí kamer byly podrobeny rozsáhlé diskusi mezi vedoucím amerického programu dr. Richardem McCrosky a autorem. Výsledek této spolupráce lze shrnout do přehledných bodů (podrobnosti byly publikovány: R.E. McCrosky, Z. Ceplecha: Fireballs and the Physical Theory of Meteors, Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Vol. 21 (1970), str. 271) :

- a) Většina jasných bolidů není doprovázena pádem meteoritů.
- b) Množství jasných bolidů je podstatně větší než vyplývá extrapolací z normálních fotografických meteorů (též pokles počtu s jasností je u bolidů pomalejší).
- c) Formální hustoty meteorických těles, vypočtené srovnáním dynamické a fotometrické hustoty, jsou pro většinu bolidů okolo  $0,4 \text{ g/cm}^3$ .
- d) Většina velmi jasných bolidů je působena tělesy, která se zcela rozpadnou ve výškách nad 40 km, dříve, než se stačí znaitelně zabrzdit.

K vysvětlení těchto paradoxů jsou zásadně možné dva přístupy. Buď je zcela mylná fyzikální teorie průletu tělesa ovzduším, anebo struktura většiny těles působících bolidů je zcela odlišná od struktury meteoritů (malá hustota nebo malá soudržnost, nebo kombinace obou).

Prvá možnost je jistě lákavá, ale laboratorní i raketová měření některých základních hodnot teorie (např. světelné účinnosti) se v posledních letech nakupila v dostatečném množství, aby platnost používané teorie byla zaručena alespoň v prvním přiblížení. Kdybychom např. chtěli celý rozpor vysvětlit jen "mylně" určenou hodnotou světelné účinnosti, zjistíme, že by meteorické těleso muselo přeměnit ve viditelné světlo prakticky téměř celou svou pohybovou energii, a to je více než nepravděpodobné. Rozložíme-li si velké odchylky od teorie na jednotlivé její parametry, je výsledek trochu lepší, ale stále značně nepravděpodobný. Otevřeným polem možného vysvětlení je postupný rozpad povrchu meteorického tělesa za letu ovzduším a pohyb malých, takto vzniklých úlomků za ním v oblasti s odlišnou hustotou ovzduší modifikovanou hlavním tělesem. Takové teoretické modely právě matematicky analyzuje dr. Vladimír Pačevět na počítači observatoře v Ondřejově. A tak možnost neplatnosti fyzikální

teorie meteorů pro bolidy stále zůstává možným, i když málo pravděpodobným vysvětlením bodů a) až d).

Mnohem pravděpodobnější je druhé vysvětlení: jasné bolidy jsou působeny tělesy zcela odlišnými od meteoritů. Tra-  
diční myšlenka, že meteority, jak je známe ze sbírek muzeí, jsou reprezentativní ukázkou kosmického materiálu v okolí naší Země, je vlastně velmi odvážná a založená jen na analogiích. Předem zde není žádný pádný důvod k takovému tvrzení. Všimněme si jen, jak počtu meteoritů ve sbírkách ubývá, postupujeme-li od kamenů s větší pevností směrem k málo soudržným. Nejvzácnější jsou ve sbírkách uhlíkaté chondrity typu I, které dnes současně i pokládáme za nejprimitivnější materiál, dopadající na zemský povrch. Jsou to kameny s velmi malou soudržností a hustotou okolo  $2 \text{ g/cm}^3$ . Jsou zpravidla doprovázeny enormně jasnými bolidy, po jejichž přeletu se najde jen velmi málo meteorit. Ovzduší Země tak tvoří jakési "sítu", kterým projdou jen odolnější tělesa. Málo soudržná tělesa jsou při tak velkých rychlostech drastickým působením ovzduší zcela rozrušena na malé úlomky, které se vypaří. Je dokonce možné, že před vstupem do ovzduší některá tělesa nemusí být homogenní, ovšem na Zemi se dostane jen ta jejich nejpevnější část.

Vrátíme-li se po těchto úvahách k paradoxům a), b), vidíme, že většina meteorických těles ve sluneční soustavě může mít složení podobné spíše uhlíkatým chondritům typu I, či možná mají strukturu ještě méně soudržnou a složením zřejmě představují ještě primitivnější hmotu. Pro vysvětlení pozorovaných údajů, s přihlédnutím k postupnému rozpadu těchto málo soudržných těles v našem ovzduší, nejlépe vyhovují tělesa s hustotou velmi blízko  $1 \text{ g/cm}^3$ . Není vyloučena genetická souvislost s kometami. Od meteorických těles působících jasné bolidy (rozměry desítky centimetrů až desítky metrů před vstupem do ovzduší) je daleko k rozměrům asteroidů, a tak bude zajímavé jednou přímo zjistit strukturu a hustotu asteroidů. Není tu vyloučena možnost genetické souvislosti asteroidů s kometami.

Tak vlastně činnost sítí kamer pro fotografování bolidů nás přivedla k rozlišení nejméně dvou typů bolidů :

- 1) "meteoritických" bolidů, jichž je velmi málo (cca 1% všech),
- 2) "normálních" bolidů, jichž je velká většina.

Spolehlivá kvantitativní kritéria k odlišení těchto dvou typů se teprve hledají, ale je zcela jisté, že jasnost bolidu a jeho dráha ve sluneční soustavě to být nemohou. Nejlepším kritériem je zatím nízká výška pohasnutí bolidu, rychlost tělesa v tomto bodě a průběh světelné křivky.

Dne 4. ledna 1970 vyfotografoval dr. Richard McCrosky ze dvou stanic Prérijní sítě přelet bolidu -15. hvězdné velikosti nad Oklahomou. Ten pronikl až do výšky 19,5 km a zmenšil při tom rychlost z původních 14,2 km/sec na 3,7 km/sec. Brzy po přeletu našel Gunther Schwartz se svými spolupracovníky 3 kamenné meteority, bronzitové chondrity, o celkové váze 18 kg. Téměř po jedenácti letech se podařilo opakovat první úspěšné fotografické sledování pádu meteoritů! A tak pád meteoritů "Lost City", kterému předcházela typický "meteoritický" bolid, se stal význačným potvrzením toho, že struktura meteorických těles pro většinu normálních bolidů je značně odlišná od struktury meteoritů.

Všechny meteoritické body jsou pozorované v Evropské síti a bod "Lost City"

číslo	Ondřejov 19241	EN 151068	EN 100469	EN 270870	EN 241170	FM 40590
název	Přibram	Čechtice	Otterkir- chen (Passau)	Stuttgart	Mt.Riffler	Lost City
datum	7.IV.1959	15.X.1968	10.IV.1969	27.VIII.1970	24.XI.1970	4.I.1970
světový čas	19h30m20s	19h53m30s	21 h 46 m	1 h 53 m	1 h 47 m	2h14m17s
jasnost (hv.vel.)	-19,2	≈-18	8-18	-11	-16	-15
výška začátku km	97,8	71,8	73	90,5	82,5	
výška konce km	13,3	30,1	21	29,6	26,0	19,5
původní rychlost km/sec	20,886	18,84	15,5	24,5	21,2	14,2
rychlost na konci světelné dráhy km/sec	nepozo- rována	6,5	3,5	7,2	6,3	3,5
cos z <sub>R</sub>	0,680	0,858	0,573	0,727	0,310	
rektastance radiantu	189,02	285,26	163,8	329,4	236,4	315,0
deklinace radiantu	17,69	60,54	-2,6	21,2	54,4	39,1
a astr.jedn	2,424	1,81	2,05	1,97	1,20	1,66
e	0,6742	0,448	0,546	0,676	0,251	0,42
q astr.jedn.	0,7899	0,997	0,923	0,638	0,896	0,97
argument perihelu	241,58	182,3	200,6	265,0	122,7	176,0
délka výstupného uzlu	17,11	202,5	36,7	153,1	241,1	283,0
sklon	10,42	25,0	5,7	21,4	31,2	12,0
nález meteoritu	4 kusy	ne	ne	ne	ne	3 kusy
spektrální záznamy	ne	ano 56 a 28 1/2 mm od celé dráhy	ne	ne	ne	ne
fotografován rozpad na jednotlivé kusy	ano	ano i spek- trum	ne	ne	ne	ano