

V. Znojil

# Návod na pozorování meteorů

## Předmluva

Předkládáme prvý z připravované řady malých svazečků, jimiž se pokusíme zaplnit citelnou mezeru v naší populárně astronomické literatuře, která se v posledních letech možnostmi amatérských pozorování prakticky nezabývá. Pro začátek jsme si vybrali návod na vizuální pozorování meteorů, protože je dostupné nejširšímu okruhu zájemců a má u nás dlouhou tradici. Navíc při současné mezinárodní spolupráci mohou být napozorovaná data od zkušenějších amatérů po zařazení do světových databází skutečně užitečná.

Se systematickým pozorováním meteorů začali u nás členové České astronomické společnosti již počátkem 20-tých let a napozorovaných údajů stále přibývalo. Později začaly být meteory i zakreslovány; přelom v tomto ohledu znamenalo vydání *Gnomonického atlasu hvězdné oblohy* (zpracovaného Kvíčalou, Štěpánkem a Vrátníkem) v roce 1940. Pozorování nedokázala zastavit ani okupace a válka, 50-tá léta byla pak „zlatým obdobím“ naší amatérské meteorické astronomie; jak počtem pozorovatelů, tak i počtem zpracovaných prací. Naprostá většina pozorovatelů se koncem 50-tých let zaměřila na teleskopické pozorování a metodika pozorování i zpracování dat se velmi rychle vyvíjela až do 60-tých let. Vizuální pozorování bez dalekohledů při tom zůstávala trochu stranou. Nárůst doby potřebné ke zpracování stále větších teleskopických pozorovacích materiálů však vedl během 70-tých a 80-tých let k poklesu zájmu o tento obor.

K renesanci zájmu o pozorování u nás přispěly mimořádné návraty Perseid v letech 1992 a 1993. Na západě došlo k oživení poněkud dříve; velkou roli přitom sehrálo založení Mezinárodní meteorářské organizace v roce 1988 (International Meteor Organization zkratka **IMO**). Její příkladná iniciativa a výborná organizace práce vedly k oživení pozorovacích aktivit na všech kontinentech. Doufáme, že ani naše země s velkou meteorářskou tradicí nezůstane stranou.

Tento návod je zpracován dle textu připravovaného návodu IMO tak, aby pozorování dle něj prováděná byla plně zařaditelná do mezinárodních databází. Pokud se tento návod od návodu IMO v nepodstatných drobnostech odchyluje, je tomu tak proto, že se snažíme jednak navázat na metody u nás dosud používané, jednak se také více zaměřit na zácvik pozorovatelů, který je při zcela individualistickém pozorování prováděném na západě obtížnější. Naopak zase na některé postupy u nás dosud běžné, které však požadavkům IMO nevyhovují, návod explicitně upozorňuje.

Protože u nás chybí vhodná knížka o meteorické astronomii je vlastní návod na pozorování doplněn několika kapitolkami zabývajícími se meteory v širším kontextu; například problémem vývoje meteorických rojů, sporadickými me-

teory a podobně. Rozhodně si ale nemůže činit nárok na úplnost ani v tomto ohledu. Protože však doufáme, že je tato brožurka jen prvním z řady podobných návodů, chceme ji během doby doplnit i o další kapitoly, například o podrobnější informace o meteoritech, o určování drah meteorů a rojů.

*Výbor sekce meziplanetární hmoty ČAS*

## 1 Úvod

To, že meteor je atmosférickým jevem, vytušily již starověké národy, a dle toho dostaly meteory i své jméno. Prvním, kdo se seriosně zabýval výškami meteorů byl koncem 17. století Halley, který dospěl k názoru, že zemská atmosféra sahá minimálně do výšky 72 km. Později spočetl z pozorování bolidu v roce 1719 výšku jeho počátku na 119 km. O mimozemském původu meteoritů pojednávala práce Chladniho z roku 1794. Již v roce 1798 začalo systematické pozorování meteorů; dva studenti, Brandes a Benzenberg, pozorovali meteory ze dvou stanic a z 23 určených drah došli k závěru, že meteory září ve vysokých vrstvách zemské atmosféry a přicházejí do ní z mimozemského prostoru.

Dnes je známo, že se výšky naprosté většiny meteorů pohybují v rozmezí od 60 do 120 km, nejčastěji kolem 90 km. Výška závisí především na rychlosti meteoru a na hmotnosti částice. Jen mimořádně hmotná tělesa pronikají do atmosféry hlouběji.

V terminologii meteorické astronomie dochází často ke zmatkům a nepřesnostem. **Meteor** (česky létavice nebo povětroň) je pozorovaný optický jev, jehož příčinou je drobné **meteorické těleso** (také **meteoroid**), které vnikne do zemské atmosféry. Ve výšce asi 80 až 110 km (v závislosti na rychlosti a struktuře) se rozzáří a postupně rozpráší. Velmi jasné meteory (obvykle jasnější než -4 mag) se nazývají **bolidy**. Nejhmotnější z pomalých těles mohou být zabrzděna odporem ovzduší dříve, než zcela podlehnou těmto procesům a jejich zbytky dopadají na povrch Země jako **meteority**. Zcela mimořádně hmotná tělesa si mohou i při srážce se zemským povrchem ponechat část své kosmické rychlosti a na Zemi pak při nárazu tělesa vzniká **meteorický kráter** (na Měsíci jsou tyto krátery nejtypičtějšími povrchovými útvary). Na opačném konci škály zářivosti jsou **teleskopické meteory**, které nejsou pozorovatelné bez dalekohledu. Ještě drobnější částice, které je možné studovat jen pomocí kosmických sond nazýváme **mikrometeority**.

O původu meteorických těles ve sluneční soustavě byly dlouho pochybnosti. Nešlo ovšem o původ těles v hlavních meteorických rojích; mnohé roje byly přiřazeny k mateřským kometám již v minulém století (zásadní Schiaparelliho

práce vyšla v roce 1866). Problémem byly hlavně sporadické meteory a Tauridy (paradoxem je, že patří ke kometě Encke, která má mezi kometami nejkratší oběžnou dobu); příčinou těchto pochyb byly systematické chyby vizuálních pozorování, které způsobily, že rychlosti meteorů byly přeceněny a vyšly vyšší, než je úniková rychlost ze sluneční soustavy. Dlouhotrvající spor byl rozhodnut teprve v polovině tohoto století díky rozšiřujícímu se souboru fotograficky zachycených meteorů a rozvojem techniky radarového pozorování.

Při pozorování rozlišujeme **meteory rojové** a **meteory sporadické**. **Meteorický roj** je tvořen soustavou těles, jejichž dráhy ve sluneční soustavě jsou si navzájem velmi podobné. Ze Země, odkud vidíme jen krátké světelné úseky těchto drah při průletu atmosférou, se dráhy rojových meteorů jeví jako části skoro rovnoběžných přímek. V důsledku perspektivy pak takový svazek drah pozorujeme jako soustavu úseček, které se při zpětném prodloužení sejdou v malé oblasti zvané **radiant roje** (obrázek 1). Meteorických rojů je dnes známo mnoho, ale mnoho je také meteorů, jejichž dráhy do žádné z takových soustav vzájemně si podobných drah nenáleží, a těmto meteorům říkáme sporadické.

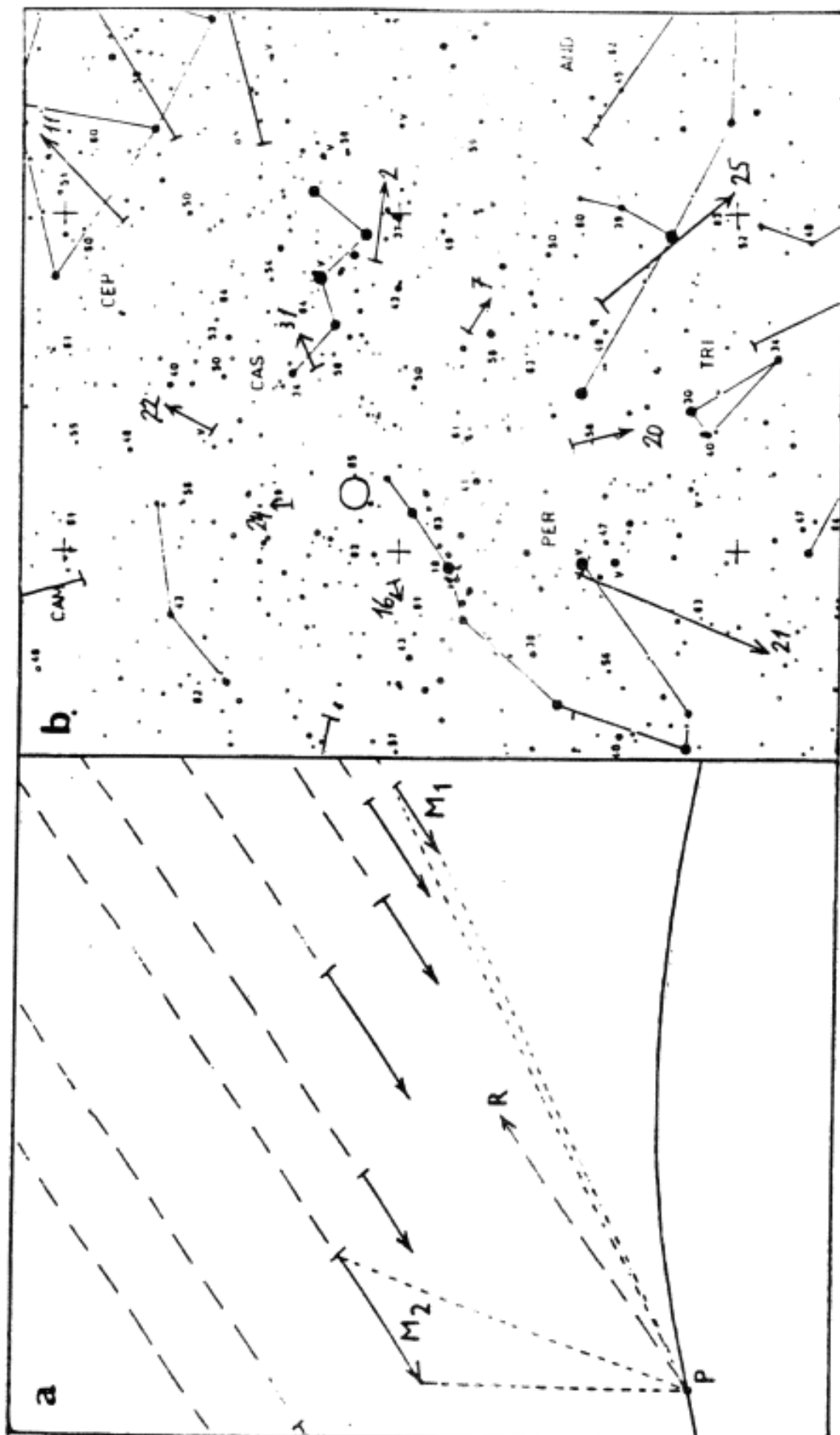
Zde je vhodné zavést ještě několik dalších pojmů. Je to především **frekvence**, která charakterizuje meteorickou aktivitu; buď souhrnnou, nebo určitého roje, nebo sporadických meteorů. Obvykle je udávána v meteorech za hodinu. Rozlišujeme **pozorovanou** frekvenci, která je ovlivněna mnoha faktory a proto říká velmi málo, dál pak **redukovanou**, u níž je proveden přepočít (korekce) na standardní pozorovací podmínky, což znamená na bezoblačnou oblohu a definovanou viditelnost (u nás se obvykle uvažuje mezní hvězdná velikost 6.0 mag, IMO užívá 6.5 mag), její obvyklá zkratka je **HR**. Pro meteorické roje se počítá **zenitová** frekvence (**ZHR**) korigovaná na radiant v nadhlavníku; tato frekvence dovoluje porovnávat pozorování z různých míst. Dalším důležitým pojmem je **populační index**, což je číslo udávající kolikrát roste skutečný počet meteorů při zvýšení meze sledování o magnitudu. Je-li tedy počet meteorů 0-té magnitudy  $N_0$  pak pro počet meteorů  $N_m$  m-té magnitudy platí

$$N_m = N_0 * r^m \quad (1)$$

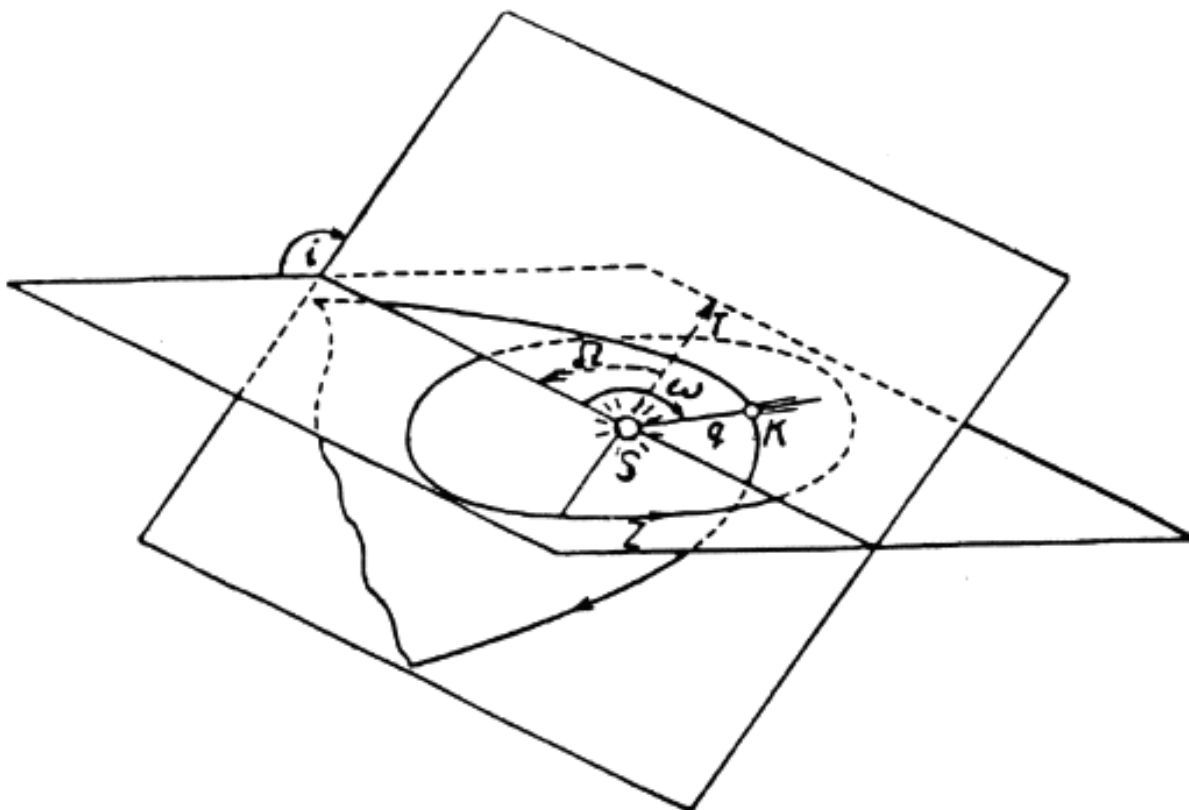
kde  $r$  je hodnota populačního indexu. U nás bývá obvykle nazýván *strmost luminositní funkce*.

## 1.1 Dráhy meteorů

Tento pojem je dvojznačný. Můžeme pod ním chápat jednak **atmosférickou dráhu**, jednak dráhu příslušného meteoroidu ve sluneční soustavě, tedy **heliocentrickou**. Atmosférickou dráhu určíme snadno i bez znalosti rychlosti



Obr. 1.: Schema drah meteorů v atmosféře (a), jak se jeví pozorovateli P; R je označen směr k radiantu,  $M_1$  a  $M_2$  jsou meteory. Meteor  $M_1$  „blízký“ k radiantu se zdá být několikrát kratší než  $M_2$ . Zákresy meteorů do mapy (b), kroužkem je označen radiant Perseid (výseč části listu gnomonického atlasu, zmenšeno).



Obr. 2.: Dráhové elementy. Je vyznačena dráha komety, její sklon  $i$ , délka uzlu  $\Omega$  ( $\gamma$  je označena poloha jarního bodu) a argument perihelu  $\omega$ , vzdálenost přísluní je označena  $q$ .

meteoroidu pozorováním ze dvou stanic a je definována jednak **výškami** počátku a konce světelné dráhy, jednak **zeměpisnou polohou** bodů, nad nimiž začal a přestal zářit. Polohy bývají uváděny méně často, protože nemají pro statistické zpracování význam, jsou ale důležité při hledání bolidů, jejichž zbytky mohly dopadnout na zemský povrch. Atmosférickou dráhu obvykle považujeme za úsečku. V další části tohoto odstavce se ale zaměříme na heliocentrické dráhy, tedy na dráhy meteoroidů ve sluneční soustavě. Pojem dráha meteoru je obvykle používán (s určitou terminologickou nedůsledností) pro heliocentrické dráhy.

Podle Keplerových zákonů jsou obecně dráhy těles sluneční soustavy elipsy, v jejichž jednom ohnisku je Slunce. K tomu, aby byly velikost a tvar elipsy jednoznačně určeny, je zapotřebí dvou parametrů; obvykle se používá délky velké poloosy  $a$  a numerické výstřednosti  $e$ . S délkou malé poloosy  $b$  jsou svázány vztahem:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (2)$$

Tím ale není dáno, jaká je poloha této elipsy ve sluneční soustavě. K tomu

je zapotřebí dalších tří údajů: je to jednak sklon roviny, v níž se dráhová elipsa nachází, k definované vztažné rovině (kterou je rovina zemské dráhy), jednak směr průsečnice těchto dvou rovin vztažený k vybranému směru, kterým je jarní bod (ze dvou možných směrů je vybrán ten, v němž těleso během oběhu vystupuje k severu nad rovinu ekliptiky), jednak poloha dráhy v její rovině vůči průsečnici těchto dvou rovin daná úhlem mezi touto průsečnicí a směrem od Slunce k perihelu ( $\omega$ ) dráhy. Tyto tři elementy nazýváme postupně sklon ( $i$ ), délka výstupního uzlu ( $\Omega$ ) a argument perihelu ( $\omega$ ). Schematicky jsou znázorněny na obrázku 2. K úplnému určení dráhy je ještě zapotřebí zadat polohu tělesa na dráze, u meteorů se obvykle využívá času jeho zachycení.

Z předešlého výkladu je jasný postup, dle něhož spočteme dráhu meteoru: čas pozorování meteoru známe, také délka uzlu je známá (jinde než v uzlu dráhy se meteoroid se Zemí neseťká), musíme jen rozhodnout, ve kterém z uzlů (výstupním nebo sestupným) jsme meteor potkali; dle toho zda jeho radiant leží pod či nad rovinou ekliptiky. Potom opravíme polohu radiantu a rychlost meteoru o zkreslující efekty popsané v dalších částech; z rychlosti spočteme velkou poloosu a ze směru sklon dráhy. Nakonec dopočítáme argument perihelu a výstřednost.

## 1.2 Průlet meteorického tělesa atmosférou

Jak již bylo řečeno, je meteor ve všech svých projevech důsledkem srážky drobného tělíska se Zemí. Při průletu atmosférou naráží tělísko na molekuly a atomy atmosféry obrovskou rychlostí (odpovídající teplotě plynu desítek tisíc stupňů), a tím jednak excituje<sup>1</sup> a ionizuje<sup>2</sup> atomy atmosféry, jednak jsou také strhávány částice z jeho povrchu (a pochopitelně i u nich dochází k ionizaci a excitaci). Viděný objekt není tedy vlastní tělísko, ale oblast atmosféry s příměsí par tělesa, která je obklopuje. Jak se vrací jednotlivé ionty do neutrálního stavu a elektrony v atomech na základní dráhy je příslušná energie vyzářena. Značná část původní kinetické energie se přitom pochopitelně rozptýlí v okolní atmosféře, na vlastní optický projev meteoru zbývá jen její malá část. Nejde v žádném případě o hoření, tedy o procesy chemické (k chemickým procesům sice dochází, nejsou ale pro studium meteorů příliš významné), ale o procesy fyziky vysokých teplot. Úplný fyzikální popis probíhajících procesů je velice složitý a vybočuje zcela z možností tohoto návodu. Hlavní potíž je v tom, že těleso nevlétá do „nenarušené“ oblasti ovzduší; již před jeho fyzickým „vstupem“ je

<sup>1</sup>Při excitaci je elektronu v atomovém obalu atomu dodána energie, tuto energii později ovšem musí atom opět vyzářit v podobě světelného kvanta.

<sup>2</sup>Ionizace je proces, jímž je z elektronového obalu „vytržen“ jeden nebo více elektronů, vzniká iont a volné elektrony.

příslušná oblast ovlivněna krátkovlnným zářením, vznikajícím během průletu atmosférou, a v hlubších vrstvách i tlakovou vlnou. Jde tedy o poměrně složité vzájemné ovlivnění procesů probíhajících na povrchu tělesa a procesů v okolní atmosféře. S probíhajícími ději souvisí i otázka „rozměrů“ meteorů; viděný jev je mnohem větší, než drobné tělíčko, které jej vyvolalo. U velmi slabých meteorů jsou jejich pozorované rozměry v decimetrech, u jasných bolidů mohou snad dosáhnout až desítek metrů. Mnohem větší rozměry pozorovaných „ohnivých koulí“ jsou pravděpodobně způsobeny irradiací; zrakovým klamem, který způsobuje, že se nám Slunce a Měsíc jeví na obloze mnohem větší, než odpovídá jejich skutečným rozměrům.

Z našeho hlediska je podstatné, že se jednak část původní kinetické energie mění v energii světelnou, jednak vznikají volné elektrony podél dráhy meteoru. Světelný jev můžeme pozorovat opticky, vzniklý elektronový plyn zase odráží elektromagnetické vlny,<sup>3</sup> a přelet meteoru proto můžeme zachytit radarem. Z předešlého vyplývá, že mnohem větší roli než chemické složení tělesa bude hrát jeho hmotnost a rychlost. Čím je těleso rychlejší a čím má větší plochu, tím dříve se začne srážet s dostatečným počtem částic vzduchu a svítit, tím meteor začne svítit výš nad Zemí a tím také dříve zaniká. Rozdíly v chemickém složení meteoroidů se projeví prostřednictvím rozdílů v jejich hustotách a v mechanické pevnosti: „řidší“ a méně „pevné“ částice začínají svítit dříve než železné stejné hmotnosti a lehčeji se rozruší. Zhruba se dá říci, že zářivý výkon meteoru je přibližně přímo úměrný hmotnosti a 2.8–mé mocnině rychlosti tělesa<sup>4</sup>. Tento vztah platí docela dobře pro teleskopické a běžné vizuální meteory, příliš se však nehodí pro bolidy.

### 1.3 Bolidy a meteority

Meteory jasnější než  $-4$  mag jsou obvykle nazývány bolidy. Vnikají do atmosféry mnohem hlouběji než slabší meteory a atmosféra je obklopující je proto již mnohem hustší. V tomto období také většinou již ztratily značnou část své kosmické rychlosti a dynamika jejich průletu atmosférou se mění. Zdánlivý paradox je v tom, že zvláště jasné bolidy jsou z velké části způsobeny poměrně pomalými meteoroidy. Příčina je ovšem prostá: rychlá tělesa se beze zbytku rozpráší nebo aspoň rozpadnou už v poměrně velkých výškách, tedy daleko od nás. Jen pomalá tělesa se dostanou přes ochrannou bariéru atmosféry do niž-

<sup>3</sup>Elektronový plyn v kovech způsobuje jednak jejich vodivost, jednak schopnost odrážet elektromagnetické vlnění. Protože elektronový plyn meteorických stop je proti němu nesmírně řídký, je schopen odrážet až „světlo“ velkých vlnových délek, tedy radiové vlny o délce řádově metrů.

<sup>4</sup>Energie je sice úměrná druhé mocnině rychlosti, ale rychlejší těleso navíc vniká rychleji do hustších vrstev atmosféry a proto je rychleji rozrušeno - svítí kratší dobu.

ších vrstev, kde jsou již nám blíže, a proto jsou jasnější. U velkých bolidů, které vniknou dostatečně „hluboko“ vzniká před tělesem v hustší atmosféře „rázová vlna“, podobná rázovým vlnám nadzvukových letadel. Tato vlna se šíří atmosférou a po několika minutách ji za příznivých okolností můžeme slyšet<sup>5</sup>. Těmto bolidům se říká „detonující bolidy“ a jsou velice vzácné.

Pokud je těleso dostatečně hmotné, může ztratit svou kosmickou rychlost dřív než se rozpráší. Přitom „zpomalí“ asi na 2km/s. Tato rychlost je už menší než rychlost zvuku v okolní atmosféře, rázová vlna se proto od tělesa oddělí a těleso padá už skoro rovnoměrnou rychlostí. Zbytek tělesa dopadá na povrch Země a nazývá se „meteorit“. Donedávna byly meteority jedinými „ukázkami“ materiálu mimozemského původu a jejich studiu je dodneška věnována značná pozornost. Z toho, co zde již bylo řečeno, je zřejmé, že těleso, z něhož zbývá meteorit, muselo vniknout do zemské atmosféry poměrně malou rychlostí a musí být poměrně pevné. Proto je také četnost různých typů meteoritů zcela jiná než četnost typů původních těles ve sluneční soustavě. Navíc mají různé typy meteoritů různou pravděpodobnost, že budou po pádu nalezeny.

## 1.4 Typy meteoritů

Mineralogové, chemici a další odborníci zabývající se výzkumem meteoritů je rozdělili dle jejich chemického složení a struktury do několika desítek skupin. Toto dělení je ovšem pro náš účel příliš podrobné. Pro prvou informaci lze vystačit s dělením do 5 základních skupin:

*Železné meteority.* Jsou složeny téměř úplně ze slitiny železa a niklu; niklu je v meteoritu od několika procent po více než deset procent. Dělí se dále dle krystalické struktury. Pocházejí zřejmě z centrálních částí diferencovaných těles<sup>6</sup>, která pravděpodobně existovala v hlavní části prstenu planetek. Jejich pády jsou dost vzácné i přesto, že ze všech typů meteoritů mají největší „šanci“ na

---

<sup>5</sup>Někdy jsou zaznamenány určité zvukové vjemy i během přeletu meteoru. Tato dosud sporná pozorování bývají vysvětlována působením elektromagnetického pole meteoru, protože šířící se ionizovaná stopa je elektrickým vodičem. Toto pole by mohlo vyvolat indukci proudu v povrchu Země; ty by mohly způsobit pohyb lehkých předmětů a tak vytvořit zvukový vjem. Potíž je v tom, že měření zmíněných polí jsou dosud velmi rozporná. Pravděpodobnější vysvětlení je v nějaké formě autosugesce, kdy je zcela tichý pohyb (což je v přírodě nezvyklý jev) prostě „potřebným“ sluchovým vjemem doplněn.

<sup>6</sup>Diferencovaná tělesa jsou taková, u nichž se původní materiál (při jejich vzniku homogenní) rozdělil dle hustoty, obvykle vlivem silného gravitačního pole. V takovém tělese je těžké a pevné jádro, obklopené lehčím pláštěm a případně i kůrou. U drobných těles (asi do průměru 400 – 1000 km) nestačí ovšem samotné gravitační pole k diferenciaci. Tato skutečnost a prokázané pomalé chladnutí některých typů meteoritů patří k dosud ne zcela ujasněným záhadám; snad ale při diferenciaci menších těles může napomoci značná tepelná energie uvolněná při vzájemných srážkách.

úspěšný průlet atmosférou. V této skupině jsou všechny nejhmotnější meteority (až do hmotností desítek tun). Patří do ní značná část meteoritů ve sbírkách, což je v nemalé míře způsobeno jejich nápadností a trvanlivostí, některé z nich byly totiž nalezeny i desítky tisíc let po pádu.

*Železokameny.* Tvoří přechodný typ k následujícím, pocházejí zřejmě z těch oblastí mateřského tělesa, v nichž diference materiálu nebyla úplná. Jejich pády i nálezy jsou dost vzácné.

*Achondrity.* Kamenné meteority, které jsou podobné pozemským horninám. Lze předpokládat, že mateřská tělesa těchto tří prvních typů byla těž, achondrity by pak pocházely z jejich povrchových vrstev zbavených kovů. Tento typ je ve sbírkách zastoupen dost málo; většinou pouze tělesa nalezenými těsně po pádu.

*Chondrity.* Nejběžnější typ meteoritů, k němuž náleží naprostá většina těles nalezených krátce po pádu a všechna tělesa s pády zdokumentovanými fotograficky. Vyznačují se zajímavou strukturou, v níž jsou v amorfni sklovité hmotě přítomny jakési „kuličky“ – chondry o průměru od desetin milimetru do několika milimetrů, které mají krystalickou stavbu. Amorfni charakter okolní hmoty bývá někdy narušen rekrystalizací. Nejpodstatnější je ale to, že zastoupení jednotlivých prvků v těchto meteoritech svědčí o tom, že neprošly výraznou diferenciací materiálu. Strukturou se pravděpodobně podobají většině planetek vnitřní části hlavního pásu.

*Uhlíkaté chondrity.* Na nálezy nejvzácnější typ meteoritů. Podobají se strukturou chondritům, liší se od nich obsahem těkavých látek jako je voda, amorfniho uhlíku a jeho sloučenin. Po pádu velmi rychle podléhají rozpadu (například vlivem deště) a i jejich mechanická pevnost je malá. Všechna nalezená tělesa mají velmi malou hmotnost a je zřejmě po mechanické stránce skoro zázrakem, že alespoň některá „přežijí“ průlet ovzduším. Mezi meteory, které Země potkává, tvoří asi druhou nejpočetnější skupinu po chondritech. Jejich původ je hledán ve vnější části prstence planetek.

V tomto přehledu asi marně hledáte meteority, jejichž mateřskými tělesy by byly komety. Pravděpodobně je část kometárního materiálu podobná uhlíkatým chondritům; další část, nazývanou „mladým kometárním materiálem“, zatím nelze identifikovat a je docela možné, že kvůli malé pevnosti těles je jejich naděje na průlet atmosférou zcela mizivá. Většina kometárního materiálu má totiž navíc při vletu do atmosféry vyšší rychlosti než „planetková“ tělesa. Náznakem existence této skupiny jsou meteory, jejichž výšky vzplanutí leží poněkud výše, než u těch meteorů, které byly s uvedenými skupinami zatím ztotožněny.

## 1.5 Optické metody pozorování meteorů

Tyto metody jsou historicky nejstarší; dle toho, čím jsou meteory detekovány je lze rozdělit na vizuální, fotografické, televizní a CCD (poslední nejsou příliš rozšířeny, pro řešení většiny současných problémů meteorické astronomie se příliš nehodí a proto je můžeme v dalším zcela vynechat).

Vizuální metody, při nichž je detektorem lidské oko rozlišujeme na pozorování pouhým okem a pozorování teleskopické, při němž je k zachycení slabších meteorů použito dalekohledu (téměř vždy binokulárního). Výhodou těchto metod je vysoká citlivost oka na slabé krátce trvající záblesky; do nedávné doby zcela nedosažitelná jinými metodami. Nevýhodou je poměrně malá přesnost získaných údajů a snadnost, se kterou naše vidění podléhá různým klamům. Pokud nepožadujeme vysokou přesnost jednotlivých získaných údajů, ale spíš velký rozsah získaných dat, jsou tyto metody stále ještě na místě. Navíc skutečnost, že jsou již velmi dlouho používány, dovoluje srovnání současných výsledků se starými bez složitých (a vždy problematických) kalibrací a tento fakt může mnoho znamenat například při studiu vývoje meteorických rojů, dlouhodobých změn meteorické aktivity a podobně. Protože jde o metody snadno dostupné amatérům, je na ně tato příručka zaměřena.

Fotografie meteorů se po nespělých začátcích koncem minulého století začala více uplatňovat během dvacátých a třicátých let, vrcholem byla asi 50-tá léta, kdy probíhal velký projekt pomocí superschmidtových komor. Různé projekty poněkud menšího rozsahu zaměřené na vybrané otázky probíhají stále. Typickým projektem současné doby je střeoevropská bolidová síť, na jejíž činnosti spolupracují odborníci z více zemí. Fotografování meteorů je sice dostupné amatérům, aby však dalo nějaké hodnotnější výsledky, je třeba koordinovat fotografickou práci více stanic a alespoň část snímků získat při použití rotujících sektorů. Tato zařízení jsou vrtule otáčející se před objektivy kamer (méně často před emulsi), které přerušují expozici mnohokrát za sekundu (asi od 20 do 100 přerušení). Ze získaného „rozsekání“ dráhy na fotografii lze určit rychlost meteoru. Ze snímků pořízených z alespoň dvou stanic z nichž je alespoň jedna vybavena sektorem lze spočítat jak atmosférickou, tak i prostorovou dráhu meteoru. Soustavná práce tohoto typu je dost náročná; pokud si ale položíme „laťku“ níž je fotografií získaná přesnost dost nákladným luxusem. Fotograficky zachytíme totiž jen poměrně jasné meteory: malými komorami jasnější 0 mag; většími asi od 1 mag – i zmíněné speciální komory dokázaly zachytit meteory asi po 2 mag, vyjímečně 3 mag. Jasných meteorů je ale málo a u ještě menšího počtu budeme mít to štěstí, aby prolétly zorným polem komory. Při patřičné trpělivosti a dobře připraveném programu lze ovšem i amatérsky získat cenné výsledky. Je možné též připravit řadu speciálních fotografických programů

(spektra, stopy a podobně) při nichž organizační nároky nejsou až tak velké.

Televizní techniky jsou nejmladší a byly umožněny až konstrukcí snímacích elektronek s vestavěnými zesilovači obrazu. Prvé z nich byly jednostupňové a měly velmi špatné parametry vztahu signál – jasnost meteoru; nové typy jsou už velmi citlivé a přesné. Mezi amatéry na západě se začínají první kamery tohoto typu již objevovat, pro nás je zatím velkou slabinou jejich cena a značné provozní náklady. U nás bylo provedeno na Astronomickém ústavu v Ondřejově s těmito kamerami několik pokusů, ale ani tam se rutinního nasazení dosud nedočkaly. Běžně prodávané videokamery mají pro tato pozorování příliš malou citlivost.

## 1.6 Radarová pozorování

Při radarových pozorováních je zachycován odraz radiových vln o délce řádu metrů (nejčastěji 6 – 12 m) od ionizované stopy. Vysílač obvykle vysílá krátké pulsy, radiové vlny se odrážejí od ionizované stopy a jsou pak zachycovány přijímačem. Dle doby šíření signálu k meteoru a zpět lze určit jeho vzdálenost. Ionizovanou stopu meteoru si můžeme představit jako válcové zrcadlo konečné délky. K odrazu vln dochází především tehdy, když je stopa „natočena“ tak, aby se úhel dopadu na její osu rovnal úhlu, v němž od osy leží přijímač, tedy když je splněna podmínka zrcadlového odrazu. Pokud je anténa vysílače totožná s přijímací anténou (což je nejběžnější případ), je třeba, aby meteor letěl kolmo na směr k anténě. Z jednoduchých fyzikálních úvah plyne, že odražený výkon je nepřímo úměrný druhé mocnině vzdálenosti stopy od vysílače krát druhá mocnina její vzdálenosti od přijímače (ve výše zmíněném případě tedy čtvrté mocnině vzdálenosti od antény). Při radiolokaci meteorů hraje velkou roli i vlnová délka: příliš dlouhé vlny jsou odráženy výše položenými vrstvami ionosféry, pro příliš krátké vlny může být „zrcadlo“ příliš „řidké“ (má příliš malou hustotu elektronů) a část vln propustí. Používané vlnové délky jsou určitým kompromisem mezi těmito krajnostmi. Přesnější výpočty ukazují, že citlivost radaru je úměrná druhé mocnině vlnové délky.

Při velkých rozdílech v hmotnostech a tím i elektronových hustotách stop je jasné, že se příliš „řidké“ stopy vyskytnou i při delších vlnových délkách (jsou způsobeny velmi malými tělisky). Stopy, u nichž dochází k prakticky úplnému odrazu, nazýváme „nasyčené“, ty, na nichž se odráží jen část výkonu, „nenasyčené“. Jaké informace můžeme i z nejjednoduššího radiolokátoru získat? Jednak vzdálenost stopy, jednak její trvání a velikost přijímaného výkonu. U nasyčených stop nás kromě vzdáleností zajímá především jejich trvání. Přijatý výkon je totiž funkcí příliš mnoha proměnných, z nichž většinu známe jen nedostatečně. Oproti tomu trvání stopy dobře charakterizuje původní hustotu

elektronů ve stopě, která je funkcí hmotnosti a rychlosti tělesa. U nenasycených stop však jinou charakteristiku než přijatý výkon v podstatě nemáme a tato informace nám musí postačovat i přes to, že je s hmotností statisticky svázána jen velice volně.

Velkou výhodou radarových metod je, že nejsou závislé na počasí a denní době. Z druhé strany je zřejmé, že co se týká jednotlivých meteorů jsou informace o nich touto cestou získané většinou poměrně malé. Proto je studium meteorů a meteorických rojů prováděno statistickými metodami, kterých byla pro různé účely vypracována celá řada: pro určování frekvencí, poloh radiantů rojů, pro určení populačního indexu. Snaha získat více informací o jednotlivých meteorrech vedla k vypracování Daviesovy metody, při níž je odražená vlna přijímána na třech stanicích vzdálených několik km od sebe. Z vyhodnocení Fresnelových zón (vznikají interferencí vln odražených od různých částí meteorické stopy) a fázových posuvů přijímaných vln od všech přijímacích stanic lze určit přímo vektor směru letu meteoru a z něj spočítat jeho heliocentrickou dráhu. Pomocí Daviesovy metody byla získána řada údajů o aktivitě slabých meteorických rojů, mnoho nových rojů bylo její pomocí objeveno.

Nakonec zbývá dodat pouze to, že radiolokační techniky jsou velmi citlivé i na slabé meteory. Běžný dosah starších aparatur byl 7 – 8 mag vizuálně, velmi citlivými aparaturami byly sledovány meteory kolem 12 mag i slabší.

## 2 Meteorické roje

Většina meteorických rojů je geneticky spojena s kometami, menší část je pravděpodobně pozůstatkem kolizí planetek. Vývoj první skupiny rojů je v současné době již poměrně dobře znám od nejranějších stadií až po velmi staré roje vytvářející meteorické komplexy a veškerá tato stadia byla pozorována; dosud však existují rozdíly v názorech na absolutní časovou škálu rychlosti vývoje rojů i komet. Roje spojené s planetkami jsou prostudovány mnohem hůř a i diskuse o zařazení jednotlivých rojů do této skupiny nejsou dosud ukončeny - je totiž stále dost obtížné od sebe roje obou skupin odlišit. Obě skupiny se sice od sebe poněkud liší ve složení materiálu meteorických těles - první skupina mateřských těles meteoroidů vznikala akrecí za velmi nízkých teplot, zatímco druhá vznikla ve vnitřních částech sluneční soustavy, kde byly teploty mnohem vyšší. Složení materiálu tělesa se ale do pozorovaného jevu promítá jen okrajově.

Pro pochopení vzniku meteorických rojů z komet je nutné se trochu blíže podívat na kometární jádro a jeho vlastnosti; právě toto odvětví astronomie totiž prošlo v posledních letech dosti rychlým vývojem.

## 2.1 Kometární jádro – zdroj meteorických těles

Staré názory na stavbu kometárních jader byly velmi různorodé – od představ o pouhou gravitací vázaných oblacích meteoroidů po představy o kompaktních, velmi malých tělesech. Již Whipple v roce 1950 se však velmi přiblížil pravdě se svou představou poměrně kompaktního „ledového“ tělesa, které ve svém nitru obsahuje velké množství „vmrzlých“ částic jiného složení – meteoroidů. Při odpařování materiálu jsou spolu s plynem uvolňovány i tyto částice a vytvářejí prachovou složku hlav komet, případně prachové ohony. Největší z těchto částic zůstávají prakticky v dráze komety a pozorujeme je jako meteorický roj. Plyny jsou UV zářením Slunce rozkládány, vznikají radikály,<sup>7</sup> jejichž záření potom můžeme pozorovat ve spektrech kometárních hlav a ohonů. Od přítomných částic mělo jádro komety získat tmavé zbarvení, proto se o tomto modelu mluvilo jako o modelu kometárního jádra tvořeného „špinavým ledem“.

Procesem uvolňování částic z komet se velmi podrobně zabýval u nás počátkem 50-tých let M. Plavec, který pro něj zavedl název ejekce. Vypočítal rychlost vývoje řady „mladých“ rojů a prokázal, že vznik meteorických rojů je recentní proces. Při svých výpočtech předpokládal rychlosti uvolněných částic kolem  $10 \text{ ms}^{-1}$ . Později vedly snahy po vysvětlení individuálních zvláštností některých rojů k ejekčním rychlostem značně vyšším; dnes je ale zřejmé, že ejekce jsou jen jedním z procesů formujících charakter roje a že se při vývoji rojů mohou i v počátečních stadiích uplatnit ještě další faktory. V novější době se podařilo získat o kometárních jádrech a jejich složení řadu údajů; jednak při průletu kosmických sond kolem jádra komety Halley, jednak v důsledku rozvoje metod astronomie v infračerveném a radiovém oboru spektra. Získané výsledky pomohly zpřesnit zmíněný model, jeho hlavní myšlenky ale platí dosud. Především se zjistilo, že kometární jádra patří k „nejčernějším“ tělesům sluneční soustavy; odrážejí jen několik málo procent slunečního světla (asi jako černé uhlí), což způsobilo potíže kosmickým sondám při fotografování jádra komety Halley - bylo mezi oblaky plynu a unikajících částic velice špatně vidět. Tento fakt a zjištění, že prachová složka tvoří mnohem větší podíl hmotnosti běžné komety než se dříve soudilo, svědčí o tom, že konglomerát jádra představuje spíš jakousi „houbu“ ze stmelěných částic zaplněnou vmrzlým plynem. Také představy o složení plynné složky doznaly určitých změn. I když je voda stále „hlavní složkou“, nejsou ani množství uhlíkatých sloučenin zanedbatelná a zdá se, že jejich produkty mohou tvořit i více než deset procent z plynné složky kom.

O mechanických vlastnostech kometárních jader (jejich hustotě, pevnosti

---

<sup>7</sup>Radikál je vysoce aktivní chemická sloučenina s volnými chemickými vazbami nebo se silně excitovaným stavem elektronového oblaku.

a podobně) můžeme usuzovat jednak z jejich chemického složení, jednak ze slapových rozpadů komet při jejich těsném přiblížení Jupiteru. Bylo již pozorováno několik takových rozpadů, naposled u komety P/Shoemaker-Levy 9 (1993e). Zde bych si dovolil malou odbočku vysvětlením pojmu Rocheovy meze. Tak bývá nazývána vzdálenost, v níž se těleso působením gravitačních sil planety rozpadá; často bývá totiž tento pojem chápán velmi neúplně a nesprávně.

O Rocheově mezi se mluví nejčastěji v souvislosti s 2.44 násobkem průměru planety. Již tento údaj není přesný – tato vzdálenost závisí na hustotě tělesa a zmíněná hodnota platí za předpokladu, že hustota planety a hustota tělesa jsou stejné. Pokud je těleso hustší nebo řidší, mez leží blíže planetě nebo dál; úměrně převrácené hodnotě třetí odmocniny z hustoty. I tento výpočet Rocheovy meze ale obsahuje předpoklad, o němž se obvykle nemluví: ten, že rozhodující silou „držící těleso pohromadě“ je gravitace a že pevnost materiálu tělesa je možno zanedbat. To ovšem platí pro tělesa s průměrem nad několik set km a rozhodně ne pro kometární jádra. Z rozpadů komet je tedy možné usoudit na meze mechanické pevnosti kometárního materiálu.

Z modelových výpočtů vychází pevnost kometárních jader velice nízká, několik set  $N/m^2$ . Tato hodnota je srovnatelná asi s pevností uschlého bláta a je důvodem, proč se komety tak snadno rozpadnou.

Dnes lze radioastronomicky změřit rychlost plynných proudů, unikajících z jádra komety. Nejvíce údajů bylo asi získáno při nedávném návratu komety P/Swift-Tuttle v roce 1992, u níž byly změřeny rychlosti plynných proudů  $400 - 800 \text{ ms}^{-1}$ . Protože jsou právě tyto proudy „motorem“ udělujícím energii meteorickým částicím uvolňovaným z komety, je zřejmé, že takto získané rychlosti meteorických částic budou velmi malé; řádu několika metrů, vyjímečně nanejvýš desítek metrů za sekundu (silami působícími na nejdrobnější prachové částice tvořící prachové ohony se teď nezabýváme). Tyto výsledky byly potvrzeny i při studiu komety P/Halley; prachový oblak bezprostředně obklopující jádro byl mnohem hustší, než se očekávalo. Dokonce se zdá, že i nepatrná gravitace této komety stačila k tomu, aby značná část uvolněných částic opět dopadala na jádro.

Můžeme tedy tento odstavec uzavřít konstatováním, že ty částice, které pak pozorujeme jako meteory, opouštějí kometární jádro velmi malými rychlostmi, obvykle jen 2 – 5 metrů za sekundu (v souhlasu s původní představou M. Plavce). Teď se můžeme na jejich osudy podívat dál.

## 2.2 Vznik nejranější formy meteorického roje – oblaku

Částice opouštějí kometu velmi malými rychlostmi a proto jsou jejich dráhy prakticky identické s drahou komety. Například sklon dráhy se může změnit

jen o pár obloukových minut (odhad úhlu lze snadno získat z poměru mezi rychlostí částice opouštějící kometu a oběžnou rychlostí komety, který je typicky  $10^{-4}$  až  $10^{-3}$ ), ostatní parametry dráhy jen o málo víc s jedinou výjimkou: dost se může změnit její velká poloosa a tím i oběžná doba, zejména u komet s delší periodou. Příslušný vztah lze snadno (i když poněkud zdoluhavě) odvodit z Keplerových zákonů pomocí středoškolské matematiky. Pro ejection z komety v blízkosti perihelu vzdáleného  $q$  (v AU) od Slunce platí:

$$dT = \frac{3}{q} * T^{\frac{5}{3}} * \frac{v_p}{v_o^2} * dv \quad (3)$$

V tomto vztahu je  $dT$  změna periody,  $T$  perioda v letech,  $v_p$  je rychlost tělesa v perihelu,  $v_o$  je oběžná rychlost na kruhové dráze a  $dv$  je změna rychlosti (ve stejných jednotkách). Hodnota  $dv$  je vůči velikostem v asi o 3 – 4 řády menší, a proto je běžná změna periody pro tělesa v dráze komet jupiterovy rodiny ( $T = 8$ let) vyjádřena ve dnech až desítkách dnů; u komety P/Swift-Tuttle ale už v rocích.

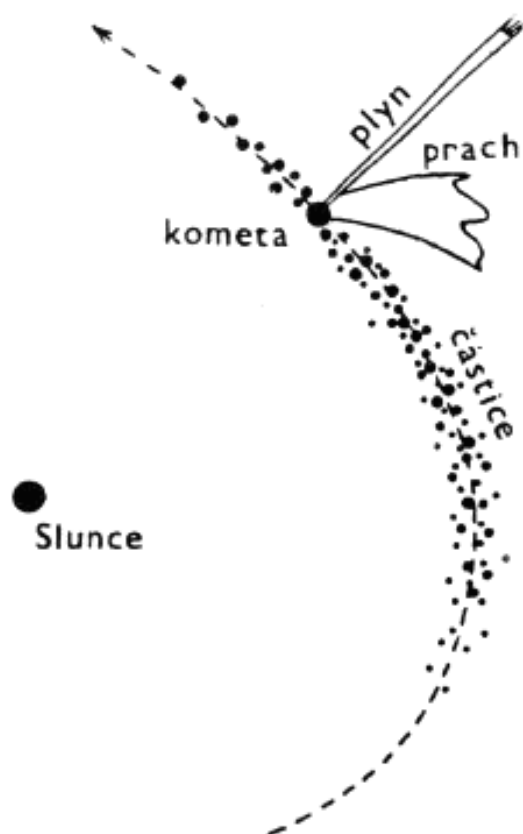
Po oddělení tělíska od komety se ale na jeho pohybu projeví další síla, tlak slunečního záření. U velmi drobných prachových tělísek je srovnatelný s gravitací, nebo ji i převyšuje, a tato tělíska proto vytvářejí prachové chvosty komet odvrácené od Slunce. Avšak ani u větších částic jej nemůžeme plně zanedbat. Působí zrychlení závislé na vzdálenosti od Slunce, průřezu částice a její hmotnosti. Pro studium pohybu těchto částic je důležitý poměr mezi zrychlením působeným tlakem záření a gravitačním zrychlením. Tento poměr je přibližně

$$\beta = \frac{F_{zar}}{F_{grav}} = 5.78 * 10^{-4} [kg * m^{-2}] * \frac{\alpha}{r * s} \quad (4)$$

kde  $r$  je poloměr částice a  $s$  je její hustota. Koefficient účinnosti  $\alpha$  je blízký 1. Výsledek je takový, jako by se sluneční přitažlivost o hodnotu tohoto poměru zmenšila. Tedy částice o poloměru 1cm (velmi jasný meteor) se bude pohybovat tak, jako by gravitace Slunce byla asi o 3 stotisíciny menší a desetkrát menší částice (slabý vizuální meteor) tak, jako by byla menší o 3 desetitisíciny. Rychlost částice je náhle „příliš velká“ vzhledem k dráze po níž se pohybuje komet. Tělísko přechází na protáhlejší dráhu s delší dobou oběhu.<sup>8</sup>

Z hodnot poměru  $\beta$  je vidět, že právě v oboru hmotností typických meteorů má tlak záření na změnu periody přibližně stejný vliv, jako je vliv rozptylu

<sup>8</sup>Pozor, tento jev nesouvisí se známým Poynting-Robertsonovým efektem; projevuje se jednorázově při oddělení tělíska od komety a jeho periodu *prodlouží*. Poynting-Robertsonův efekt vzniká skládáním pohybu tělesa a záření a působí *postupné zkracování* oběžné doby.



Obr. 3.: Schema vzniku meteorického roje v dráze komety, částice jsou označeny body. Je znázorněno, že větší částice jsou jak před, tak i za kometou, zatímco drobné částice před kometou téměř chybí. V obrázku jsou také vyznačeny obvyklé polohy prachového a plynného chvostu.

rychlostí při opuštění komety; vede k tomu, že se oblak podél dráhy posune „za kometu“. Největší deště Drakonid byly pozorovány 16 dní (v roce 1946), případně 80 dní (1933) za kometou (to znamená, že bodem křížení dráhy se zemskou dráhou prošla kometa o 16 dnů dříve, než roj).

Jak by tedy takový oblak pár desítek let po svém vzniku měl vypadat? Schematicky je jeho vzhled zachycen na obrázku 3. Oblak je stále ještě jen v těsném okolí komety, hmotné částice jsou jak před, tak i za kometou. Oproti tomu drobnější částice jsou soustředěny z velké části za kometou a celý oblak je velmi úzký (méně než 0.001 AU). Donedávna mohl být takový vzhled velmi mladého roje jen teoretickou dedukcí, roj jsme potkali jen tehdy, když se setkal se Zemí a nebylo vždy jasné, jak se na hustotě roje projeví poruchy způsobené přitažlivostí planet (hlavně Jupitera).

Družice IRAS během roku 1983 zachytila na infračervených snímcích (v oborech 12, 25, 60 a 100  $\mu\text{m}$ ) řadu velmi úzkých protažených stop způsobených tepelným zářením částic těchto nejmladších meteorických rojů. Charakteristická velikost těchto částic byla submilimetrová (teleskopické meteory). Zjištěné stopy náležely periodickým kometám Encke, Churyumov-Gerasimenko, Gunn, Kopf, Pons-Winnecke, Tempel 1, Tempel 2 a Schwassmann-Wachmann 1; tedy až na prvou (která je známým zdrojem kometárního materiálu) a poslední (která je zcela vyjímečně mohutnou a aktivní kometou vně Jupiterovy dráhy) jde vesměs o komety jupiterovy rodiny, které se právě nacházely v blízkosti perihelů

(což je výběrový efekt). Žádné stopy po oblacích spojených s kometami o delší oběžné době nebo meteorickými roji nebyly nalezeny (ze Země pozorované roje jsou o několik řádů řidší, než tato oblaka). Oproti tomu byla nalezeno 9 stop spojených s minimálně 4 neznámými kometami. Délka pozorovaných stop bylo od milionů do stovek milionů km (u komety Tempel 2). Absence stop komet s delšími periodami není po pohledu na vzorec (3) nijak překvapivá, jejich několikrát řidší oblaky unikly pozornosti.

### 2.3 Další stadium vývoje roje – stadium meteorického vlákna

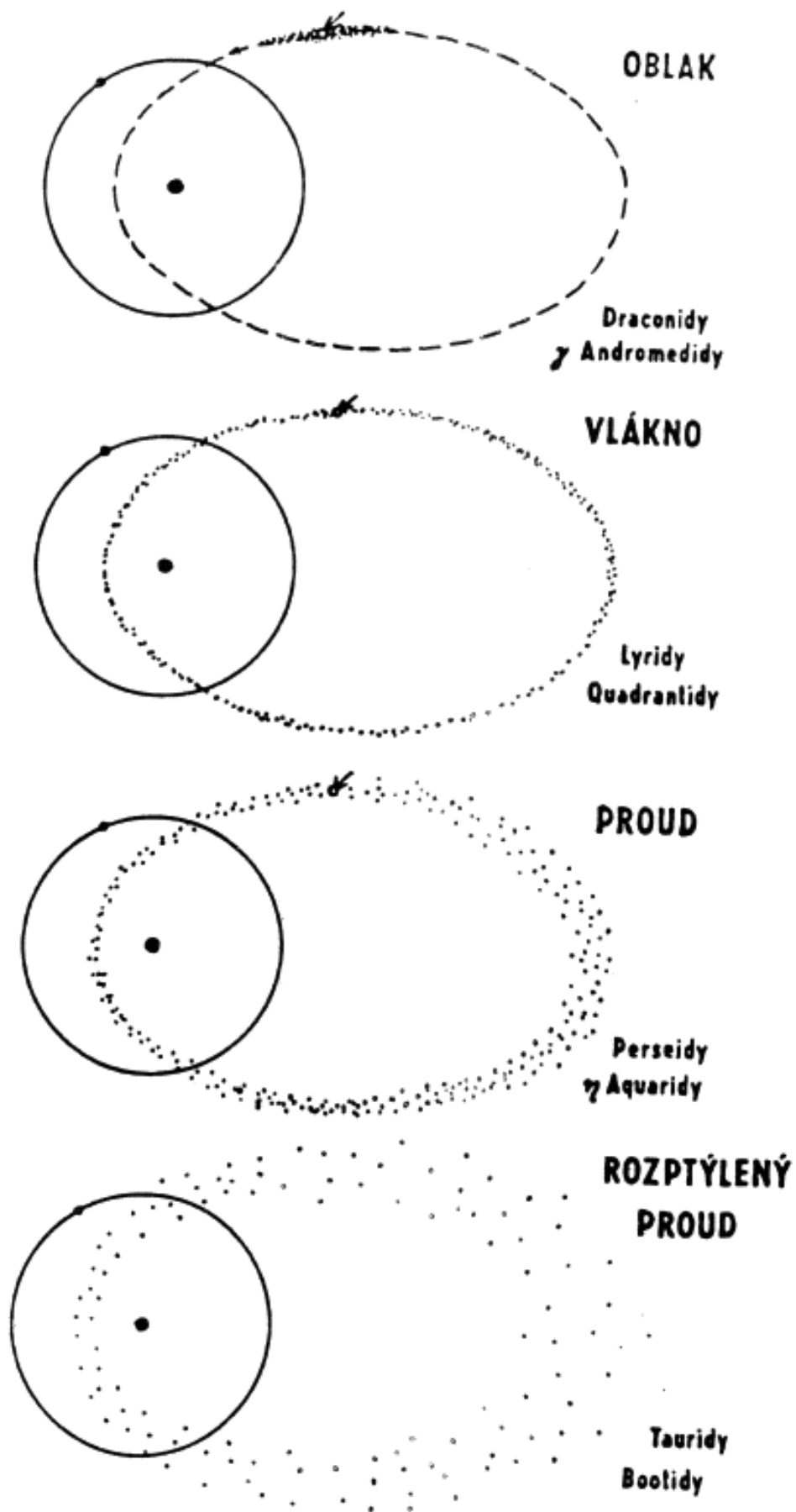
V důsledku rozdílných rychlostí částic roje se oblak protahuje a postupně zaplní celou dráhu. Maximum roje zůstává stále velice ostré, rozdíly v elementech drah jsou pořád minimální a radiant roje je proto stále skoro bodový. Roj je již na rozdíl od oblaku, který můžeme pozorovat jen v některých letech, sledován každoročně. Jako příklady tohoto stadia vývoje meteorického roje jsou obvykle uváděny Quadrantidy a Lyridy. Oba roje jsou však dost netypické; centrální vlákno Lyrid je dost deformováno poruchami způsobenými Saturnem a proto se s nejhustší částí roje setkáváme málokdy, Quadrantidy zase mají z pozorovaných rojů snad nejsložitější vývoj vzhledem k velkým cyklickým poruchám komety P/Machholz, která je pravděpodobně jejich mateřským tělesem.

Zdá se, že ve vývoji většiny rojů (alespoň rojů komet jupiterovy rodiny) je toto stadium „přeskočeno“ a oblak se v důsledku gravitačních poruch velmi rychle rozptýlí do podoby proudu; ještě dřív, než dojde k jeho uzavření podél celé dráhy. Je tomu tak proto, že afely všech komet této rodiny leží v těsné blízkosti dráhy Jupitera; vždy po uplynutí jeho oběžné doby dochází k velkým gravitačním poruchám u těch částic, které jsou v okolí afelu. Teoreticky trvá přechod od oblaku k vláknu několik set až tisíc let a nezáleží příliš na oběžné době (pro komety s perihelem v blízkosti Země se tato doba prodlužuje pouze asi s třetí odmocninou oběžné doby roje).

Celkový přehled vývoje meteorického roje je schematicky znázorněn na obrázku 4.

### 2.4 Poynting-Robertsonův efekt

Při vývoji meteorických rojů se mimo gravitačních sil uplatní ještě řada dalších faktorů; v současné době jde počet známých vlivů do desítek. Řada z nich má i vliv na dráhy jednotlivých částic roje. Nejznámější z nich je Poynting-Robertsonův efekt. Jeho vznik lze vysvětlit celkem jednoduše: sluneční záření dopadá na částice (o vlivu jeho tlaku bylo psáno již dříve) a jeho směr se vektor-



Obr. 4.: Schema vývoje meteorického roje. Kruhy s vyznačeným středem představují dráhu Země a polohu Slunce. U jednotlivých fází jsou uvedeny příklady.

rově skládá se směrem letu částic (pochopitelně relativisticky). V důsledku toho není směr dopadu záření na částici totožný s jejím průvodičem, záření dopadá poněkud směrem „zepředu“ z hlediska pohybu částice. Vzniká tím síla, která pohyb částice brzdí. Na rozdíl od tlaku záření, jehož vliv vlastně jen „opraví“ velikost přitažlivosti, tato síla působí stále a má proto za následek plynulou změnu dráhy. Klesá výstřednost a velikost velké poloosy, zkracuje se oběžná doba. Stejně jako u tlaku záření, záleží i velikost Poynting-Robertsonova efektu na velikosti částic. Pod vlivem této síly se diferencují částice roje dle velikosti: drobné částice jsou bržděny víc a dostávají se proto do vnitřní části dráhové elipsy; pokud je sklon dráhy roje malý, můžeme tuto diferenciaci pozorovat jako posun maxima frekvencí slabých meteorů vůči meteorům jasným (obrázek 6). Tento jev byl skutečně u řady rojů zjištěn (velmi výrazný je například u  $\delta$ -Aquadrid, u nichž nastává maximum slabých meteorů podstatně později než u jasných). Podobné efekty může vyvolat i sluneční vítr a jiné faktory; celkově se jejich vlivy sčítají. Poynting-Robertsonův efekt působí pomalu, na strukturu roje se výrazněji projeví až za několik tisíc let.

## 2.5 Vznik meteorického proudu

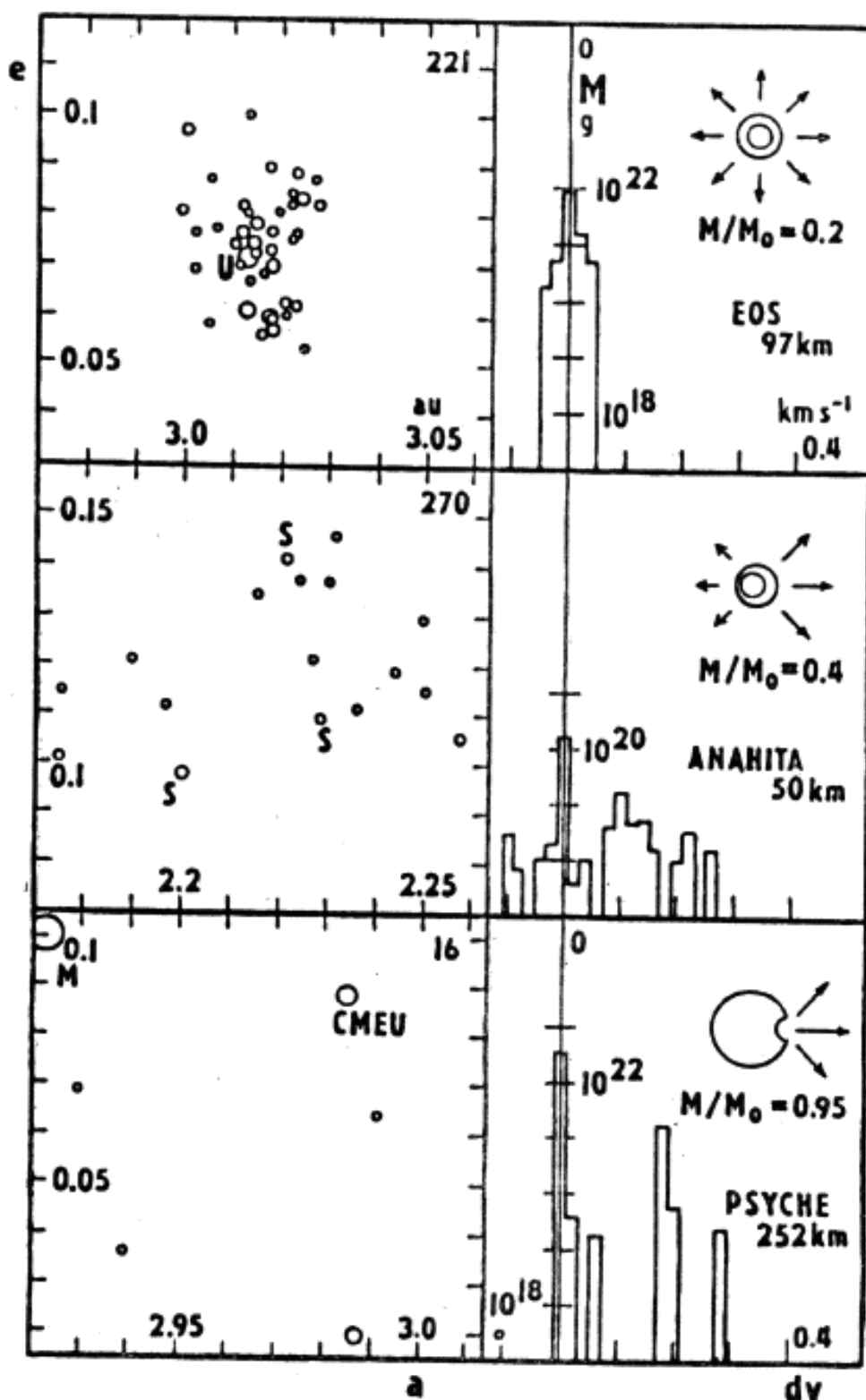
Vlivem gravitačních poruch, Poynting-Robertsonova efektu a dalších rušivých faktorů jsou dráhy jednotlivých částic roje rozptylovány víc a víc. Roste výrazně rozptyl i těch parametrů, které v prvých fázích vývoje roje byly pro všechny částice téměř stejné (sklonu, délky uzlu, argumentu perihelu). Radiant roje již není téměř bodový, ale zabírá stále větší plochu (u velice pomalých rojů může mít i desítky stupňů). Také období aktivity se prodlužuje, z desítek minut až hodin na více dnů i týdnů. Přitom pochopitelně roj „řidne“, jeho hodinové frekvence klesají. Z druhé strany můžeme naopak potkat i proudy, jejichž mateřské těleso míjí Zemi ve značné vzdálenosti (roje komety Halley, roje komety Encke). Také trvání této fáze vývoje meteorického roje je mnohem delší, než stadií raných. Většina pozorovaných rojů je proto ve stadiu více či méně rozptýlených proudů.

Široký proud je posledním stadiem, hustota částic roje (a tím i frekvence) postupně natolik klesnou a dráhové rozdíly mezi částicemi natolik vzrostou, že roj přestává být rozeznatelný a zanikne ve sporadickém pozadí.

## 2.6 Vývoj soustav těles spojených s planetkami

Je jasné, že při kolizích planetek musejí vznikat jejich drcením drobná tělesa, která můžeme sledovat jako meteory. To, že je fragmentace planetek dosti obecným jevem, dokazuje existence rodin planetek; členové takové rodiny mají velmi

# FRAGMENTACE PLANETEK



Obr. 5.: Schema tří rodin planetek. Vlevo je vždy schema rozdělení dráhových elementů těles v rovině velká poloosa - výstřednost. Velikosti kroužků znázorňují hmotnosti planetek, písmena u nich klasifikaci typů těles; nejisté typy jsou označeny kombinací písmen. V témže políčku je vpravo nahoře číslo hlavní planetky rodiny. Vpravo je sloupcovým diagramem znázorněna závislost hmotnosti tělísek na diferenci mezi vektorem jejich rychlosti a vektorem rychlosti hlavního tělesa. V tomto políčku grafu je vpravo nahoře schematicky zakreslen předpokládaný typ rozpadu, výraz  $N/N_0$  udává poměr hmotnosti hlavní planetky ku hmotnosti všech známých členů rodiny. Pod ním je jméno a průměr hlavní planetky.

podobné dráhy a obvykle i složení jak je pro tři rodiny planetek znázorněno na obrázku 5.

Dost rozšířeným omylem je názor, že při srážce dvou těles se „materiál rozletí po celé sluneční soustavě“. I při srážce rychlostí několik km za sekundu (větší rychlosti jsou nepravděpodobné, dráhy planetek jsou vesměs přímé s malými sklony a většinou i poměrně malými výstřednostmi) je většině fragmentů udělena rychlost řádu jen desítek, vyjimečně set metrů za sekundu. Vzniká tedy opět „oblak“, ale řidší a rychleji se rozptylující než u komet. Po několika obězích se už podobá proudu a v této fázi vývoje obvykle roje dáváno do souvislosti s planetkami pozorujeme. Zde je ovšem nutné poznamenat, že rozlišení jednotlivých typů drah není ani zdaleka ostré a jednoznačné. Pro celou jednu skupinu meteorických rojů – roje o toroidálních drahách – dosud ani neznáme vhodnou skupinu mateřských těles. Svými málo výstřednými drahami se totiž podobají drahám planetek, velkými sklony pak spíš drahám dlouhoperiodických komet. Navíc se tyto roje vyznačují velkým zastoupením velmi drobných částic, nejspíš jsou tedy sledovatelné radary (tak byly také objeveny) nebo teleskopicky.

## 2.7 Jak vidíme různá stadia vývoje meteorických rojů?

Pro pozorovatele je důležité znát charakteristické znaky jednotlivých stadií vývoje meteorického roje. I když by měly být hlavní rysy těchto stadií zřejmé z předešlého textu, stojí za to je zde stručně zopakovat.

*Meteorický oblak* se projeví jen tehdy, protíná-li dráha Země střední dráhu roje a mateřské těleso se přitom nachází blízko tohoto průsečíku. Hodinové frekvence jsou obvykle velmi vysoké (od několika set do mnoha desítek tisíc meteorů) a maximum trvá jen velmi krátce (obvykle desítky minut). Radiant roje je prakticky bodový (s průměrem pod  $0.1^\circ$ ). Roj je ovšem pozorovatelný jen v některých letech.

*Meteorické vlákno* lze pozorovat obvykle každoročně, i když hodinové frekvence meteorů mohou rok od roku velice kolísat (od jednotek do stovek meteorů v hodině). Radiant roje zůstává velmi malý, jeho průměr je pod  $1^\circ$ .

*Meteorický proud* lze pozorovat každoročně, frekvence meteorů jsou poměrně stálé. Roj je v činnosti obvykle několik dnů, vyjimečně i týdnů. S délkou období aktivity souvisí i rozptyl radiantu roje, od  $1^\circ$ , po mnoho stupňů, v případě roje s malou geocentrickou rychlostí i přes  $10^\circ$ . Maximální frekvence bývají nejvýš několik desítek meteorů za hodinu, obvykle mnohem méně. Často nemají tyto roje výrazné maximum (zvláště když dráha Země míjí centrální část roje). Mnohdy v těchto rojích pozorujeme složitou strukturu v uspořádání drah („vláknitá“ struktura Orionid a  $\eta$ -Aquarid, dlouhodobé změny polohy centrálního proudu u Geminid, projevy Poynting-Robertsonova efektu a podobně).

V některých rojích se překrývají projevy více komponent různého stáří, hlavně tehdy, když je jejich mateřské těleso na prakticky stabilní dráze a roj se proto mohl „nerušeně“ vyvíjet tisíce i desítky tisíc let. Pak můžeme pozorovat například uvnitř širokého proudu výrazné maximum pocházející od mnohem mladší složky, případně i občasná setkání s recentně vznikajícím oblakem, jako je tomu u Perseid; u Leonid zase existuje oblak v blízkosti komety na pozadí poměrně starého málo výrazného proudu.

Oproti tomu vývoj rojů komet jupiterovy rodiny může probíhat přímo „zběsilou“ rychlostí. Po meteorických deštích Andromedid z minulého století zbyl dnes jen zcela nevýrazný, široký proud s maximální frekvencí kolem 1 meteoru za hodinu. Často jsou tyto roje pozorovatelné jen několik desítek let.

## 2.8 Pohyb radiantů meteorických rojů

Poloha radiantu meteorického roje je dána skládáním vektoru pohybu Země a vektorů pohybu částic. Setkáváme-li se s proudem částic po delší období, směry těchto vektorů se mění a proto se mění i poloha radiantu roje. Tato změna polohy radiantu závisí na mnoha faktorech; na jednom z prvních míst stojí charakter poruch, jimž byl roj v minulosti během svého vývoje vystaven. Přesto ale existuje dost výrazná statistická preference pohybů radiantů rojů během období jejich aktivity. Zavedeme-li si ekliptikální soustavu souřadnic, v níž ekliptikální délky počítáme od apexu (tedy bodu, k němuž směřuje Země na své dráze kolem Slunce), jsou pohyby radiantů rojů v této soustavě obvykle velmi malé. Dle jiné studie probíhá pohyb radiantů většinou tak, že radiant směřuje k aktuální poloze Slunce rychlostí asi 59' za den. Pro většinu rojů (s radianty blízko ekliptiky) dávají obě zákonitosti téměř stejný výsledek. Není znám žádný případ, že by se radiant roje pohyboval zpětně.

Ze skládání vektorů pohybu částic a pohybu Země plyne ještě jeden důležitý důsledek: pokud je úhel mezi těmito vektory velký, nemají na získaný směr drobné odchylky mezi vektory pohybu jednotlivých částic velký vliv. Pokud je ale tento úhel malý (například když částice po přímých drahách dohánějí malou rychlostí Zemi), rozdíl mezi vektory pohybů částic a Země se tím značně zmenší a tyto odchylky se ve výsledných vektorech projeví značnými rozptyly jak směru, tak i rychlosti. Proto radianty pomalých rojů jsou i za stejného rozptylu elementů drah částic daleko difusnější (až pětkrát) než rojů s velkými geocentrickými rychlostmi. Extrémním případem je roj Cyklid, s drahou dost podobnou dráze Země (velmi malý sklon, poloosa asi 1.06 AU), který vlastně ani radiant nemá - jeho meteory mohou přicházet z větší části příslušné hemisféry, z oblasti o poloměru asi 60°.

## 2.9 Větve rojů a parazitní radianty

V katalozích drah rojů bývají často přítomny dvojice i trojice rojů o velmi podobných drahách, lišících se od sebe hlavně sklonem (a délkou uzlu, která bývá o  $180^\circ$  větší či menší). Dnes jsou považovány za jeden roj s více větvemi. Tento jev se vyskytuje výlučně u rojů s krátkoperiodickými drahami (nejznámější z nich jsou Tauridy,  $\delta$ -Aquaridy a  $\iota$ -Aquaridy). Výpočty již prokázaly, že takové svazky drah mohou vznikat jako důsledek sekulárních poruch drah mateřských těles, případně i rojů. Obvykle pozorujeme určitou symetrii: dva radianty o přibližně stejné ekliptikální délce rozložené symetricky vůči ekliptice (Tauridy), někdy je pozorován i radiant v těsné blízkosti ekliptiky. Při malých geocentrických rychlostech roje mohou být i při malých sklonech drah tyto radianty značně daleko od sebe (až  $60^\circ$ ). Existence těchto větví je dobře potvrzena fotografickými a radarovými daty.

Jinou záležitostí jsou „parazitní“ radianty. Byly pozorovány obvykle v blízkosti radiantů hlavních rojů, například Perseid, Orionid i Lyrid. Zde je třeba si uvědomit, že u těchto rojů odpovídá i malé změně polohy radiantu dost drastická změna heliocentrické dráhy. Fotografická ani přesná radarová pozorování existenci podobných radiantů nepotvrzují. Jejich vznik je zřejmě podmíněn několika spolupůsobícími faktory: občasným výskytem hrubých chyb v zákresech, kontaminací dat meteory jiných rojů nebo sporadickými meteory, výskytem radiantů jiných rojů blízko studovaného radiantu. Jen v ojedinělých případech rojů se složitým vývojem a strukturou (například Orionid) se zdá, že by část vizuálně pozorovaných struktur mohla mít reálný podklad. Ve většině případů jsou však parazitní radianty zřejmě způsobeny nekritickým přístupem k analýze získaných vizuálních dat.

## 3 Seznamy meteorických rojů

V různých dobách byla sestavena řada katalogů meteorických rojů, jak z vizuálního pozorování, tak také v novější době dle fotografických a radarových dat, případně i z teleskopických pozorování. V minulém století publikoval velmi rozsáhlý katalog Denning (1899), známé jsou také novější seznamy Olivierovy (1925), Hoffmeisterovy (1946) a Astapovičovy (1956,1962). Z rozsáhlých fotografických dat vychází dnes už klasický katalog Cooka „A Working list of Meteor Streams“ (1973) a méně známý syntetický seznam Terentjevové (1965,1967). Řada seznamů byla pořízena i z radarových dat, hlavně z výsledků radarových pozorování systémů, pracujících Daviesovou metodou; namátkou vybírám ze známějších katalogy Sekaniny (1973,1976), Kaščejeva a dalších (1967). U nás zpracoval seznam teleskopicky zachycených rojů Znojil (1990).

Mnoho těchto katalogů, hlavně pokud se zabývají i roji s velice nízkou aktivitou, má jednu společnou slabinu: část rojů v nich uvedených mohla vzniknout fiktivní shodou směru několika meteorů, nebo i náhodným souhlasem několika fotograficky zjištěných drah. V lepším případě na tuto možnost autor upozorní, některé z uvedených katalogů jsou však v tomto ohledu dost nekritické (prototypem málo kritického přístupu je asi Denningův seznam, problematické jsou i katalogy Astapovičovy, ovšem také řada jiných). Každý seznam je vždy z tohoto hlediska značným kompromisem: buď autor zahrne jen zcela spolehlivě zjištěné roje (jako je tomu v seznamu Cookově), nebo je nutné počítat s tím, že některý ze slabších rojů je ve skutečnosti fiktivní. Není to pouze záležitost kvality, rozsahu a spolehlivosti vstupních dat, svou roli zde hrají i statistické faktory, jako jsou fluktuace a náhodný souhlas hodnot parametrů v souborech s těžko explicitně vyjádřitelnými distribučními funkcemi.

### 3.1 Meteorické roje sledované v programech IMO

Pracovní katalog sestavený pro potřeby pozorovatelů IMO obsahuje celkem 64 meteorických rojů, které mají pozorovatelé sledovat. Patří spíše k „velmi opatrným“, reálná existence rojů je prakticky zaručena. Od nás je možné sledovat 39 rojů nebo jejich soustav, zbytek rojů je „určen“ pro pozorovatele jižní polokoule.

V připojené tabulce 1 převzaté ze zmíněného připravovaného mezinárodního návodu je seznam těchto vybraných rojů. Začíná názvem roje, následuje jeho období aktivity a datum maxima, geocentrická rychlost roje, populační index, zenitová frekvence v maximu a v IMO používaná třípísmenná zkratka roje. Seznam je určen pro praktické použití pozorovatelů, těžko rozlišitelné radianty jsou sloučeny do jednoho svazku (Virginidy, Scorpio-Sagittaridy), respektive pokud se překládají aktivity více různých rojů s velmi blízkými radianty (ale někdy o různých drahách), jsou období jejich aktivity omezena tak, aby v určitém období byl jako dominantní uveden jen jeden z nich; tato omezení období aktivit jsou označena znakem \* (například  $\alpha$ -Capricornidy,  $\iota$ -Aquaridy N a Piscidy S). V tabulce 2 je seznam těchto restrikcí dob aktivity. U soustav radiantů s více roji není uvedeno maximum činnosti; navíc je nutné si uvědomit, že zvláště u slabých rojů bez výrazného maxima může být jeho datum velmi nejisté (dle některých pozorování nastává například maximum Comaberenicid až kolem 10. ledna, tedy o 3 týdny později, než je uvedeno v tabulce). Také populační indexy představují pouze střední hodnoty, během aktivity roje se mohou velmi výrazně měnit; v období ostrých maxim Perseid například klesla hodnota  $r$  pod 2.0. V rubrice frekvencí označuje zkratka Var velmi proměnlivé frekvence v různých letech; + znamená výskyt ostrých maxim s vyššími frekvencemi.

Roj	Obdobi aktiv.	Maxim.	v	r	ZHR	Kod
Quadrantids	Jan 01 – Jan 05	Jan 3/4	41	2.1	110	QUA
delta Cancrids	Jan 05 – Jan 24	Jan 16	28	3.0	5	DCA
delta Leonids	Feb 05 – mar 19	Feb 26	23	3.0	3	DLE
Virginids	Feb 01 – May 30		35	3.0	5	VIR
Scorpio-Sagittarids	Apr 15 – Jul 25		35	2.3	10	SAG
Lyrids	Apr 16 – Apr 25	Apr 22	49	2.9	20+	LYR
alpha Bootids	Apr 14 – May 12	Apr 28	20	3.0	3	ABO
eta Aquarids	Apr 19 – May 28	May 04	66	2.7	50	ETA
June Lyrids	Jun 11 – Jun 21	Jun 16	31	3.0	5	JLY
June Bootids	Jun 26 – Jun 30	Jun 28	14	3.0	2	JBO
July Pegasids	Jul 07 – Jul 11	Jul 09	70	3.0	8	JPE
Piscis Austrinids	Jul 09 – Aug 17	Jul 28	35	3.2	8	PAU
alpha Capricornids	Jul 03 – Aug 10*	Jul 29	23	2.5	8	CAP
delta Aquarids S	Jul 08 – Aug 19	Jul 28	41	3.2	20	SDA
delta Aquarids N	Jul 15 – Aug 25	Aug 12	42	3.4	5	NDA
iota Aquarids S	Jul 15 – Aug 25	Aug 04	34	2.9	3	SIA
iota Aquarids N	*Aug 11 – Aug 25*	Aug 20	31	3.2	3	NIA
Perseids	Jul 17 – Aug 24	Aug 12	59	2.6	95+	PER
kappa Cygnids	Aug 03 – Aug 31	Aug 18	25	3.0	5	KCG
pi Eridanids	Aug 20 – Sep 05	Aug 28	59	2.8		ERI
alpha Aurigids	Aug 24 – Sep 05	Sep 01	66	2.5	15	AUR
delta Aurigids	Sep 05 – Oct 10	Sep 10	64	3.0	7	DAU
kappa Aquarids	Sep 08 – Sep 30	Sep 20	16	3.0	3	KAQ
Piscids S	*Aug 26 – Oct 14	Sep 24	26	3.0	3	SPI
Oct. Capricornids	Sep 20 – Oct 14	Oct 03	15	2.8	3	OCC
sigma Orionids	Sep 10 – Oct 26	Oct 05	65	3.0	3	SOR
Draconids	Oct 06 – Oct 10	Oct 10	20	2.6	Var	GIA
epsilon Geminids	Oct 14 – Oct 27	Oct 20	71	3.0	5	EGE
Orionids	Oct 02 – Nov 07	Oct 21	66	2.9	25	ORI
Taurids S	Sep 15 – Nov 25	Nov 03	27	2.3	10	STA
Taurids N	Sep 13 – Nov 25*	Nov 13	29	2.3	8	NTA
Leonids	Nov 14 – Nov 21	Nov 18	71	2.5	10+	LEO
alpha Monocerotids	Nov 15 – Nov 25	Nov 20	60	2.7	5	AMO
chi Orionids N	*Nov 26 – Dec 15	Dec 02	28	3.0	3	XOR
Monocerotids	Nov 27 – Dec 17	Dec 10	42	3.0	5	MON
sigma Hydrids	Dec 03 – Dec 15	Dec 11	58	3.0	5	HYD
Geminids	Dec 07 – Dec 17	Dec 14	35	2.6	110	GEM
Coma Berenicids	Dec 12 – Jan 23	Dec 17	65	3.0	5	COM
Ursids	Dec 17 – Dec 26	Dec 22	33	3.0	50	URS

Tab. 1.: Seznam meteorických rojů dle pracovního listu IMO.

	QUA	chart 3	DCA	chart 8
Jan 1	228 50	252 146		
Jan 5	230 49	249 141	116 22	288 236
Jan 10			121 21	269 228
Jan 15			125 20	252 222
Jan 20			130 19	237 216
Jan 25			134 18	223 210

	DLE	chart 8
Feb 5	141 25	202 234
Feb 10	145 24	189 228
Feb 15	150 22	176 223
Feb 20	154 21	164 218
Feb 25	158 19	151 213
Feb 28	161 18	144 210
Mar 5	165 17	131 205
Mar 10	169 15	119 201
Mar 15	173 13	105 196
Mar 20	177 12	92 192

	VIR	chart 8	chart 5
Feb 3	159 15	149 199	
Feb 13	167 9	125 181	
Feb 23	174 5	103 169	256 179
Mar 5	182 1	74 157	226 164
Mar 15	189 - 2	45 146	202 155
Mar 25	195 - 4	15 138	183 150
Apr 4	200 - 6		169 144
Apr 14	204 - 8		157 138
Apr 24	208 - 9		146 135
May 4	211 -11		137 129
May 14	214 -12		128 126
May 24	217 -13		120 123

	SAG	chart 9
Apr 15	224 -18	335 81
Apr 25	230 -22	304 72
May 5	236 -25	279 67
May 15	243 -27	253 66
May 25	251 -29	228 64
Jun 4	260 -30	202 64
Jun 14	269 -30	178 65
Jun 24	279 -28	151 71
Jul 4	288 -27	125 71
Jul 14	297 -24	96 76
Jul 24	306 -20	62 84

	LYR	chart 3	ABO	chart 5	ETA	chart 6
Apr 15	263 34	191 78	209 23	144 227		
Apr 20	269 34	178 76	212 21	134 222	323 -7	159 140
Apr 25	274 34	164 77	216 20	124 218	328 -5	146 146
Apr 30			219 18	114 214	332 -4	133 151
May 5			223 17	104 211	337 -2	120 157
May 10			227 16	93 208	341 0	108 163
May 15					346 3	94 169
May 20					350 5	81 175
May 25					355 7	67 182

	JLY	chart 3	JBO	chart 3	JPE	chart 6
Jun 10	275 35	163 79				
Jun 15	277 35	157 80				
Jun 20	280 35	150 82				
Jun 25			217 50	272 160		
Jun 30			220 48	270 153		
Jul 5					337 14	121 200
Jul 10					341 15	110 205

Tab.3a.: Polohy radiantů jednotlivých rojů seznamu, jednak ve sférických souřadnicích, jednak na listech gnomonického atlasu v různých dnech.

	CAP		chart 9		PAU	chart 6
Jul 5	285	-16	133 107			
Jul 10	289	-15	121 109	chart 6	325 -35	155 38
Jul 15	294	-14	105 111	259 111	330 -34	141 45
Jul 20	299	-12	88 115	240 118	334 -33	128 52
Jul 25	303	-11	72 117	222 125	338 -31	115 58
Jul 30	308	-10		206 131	343 -29	102 63
Aug 5	313	-8		189 138	348 -27	86 69
Aug 10	318	-6		176 143	352 -26	72 74
Aug 15					356 -24	58 78

	SDA	chart 6	NDA	chart 6	SIA	chart 6
Jul 10	325 -19	154 102				
Jul 15	329 -19	143 105	316 -10	182 131	311 -18	196 105
Jul 20	333 -18	131 108	319 -9	171 134	317 -17	179 109
Jul 25	337 -17	120 111	323 -9	159 137	322 -17	163 111
Jul 30	340 -16	109 114	327 -8	148 139	328 -16	147 114
Aug 5	345 -14	96 118	332 -6	135 143	334 -15	128 117
Aug 10	349 -13	85 121	335 -5	124 146	339 -14	113 120
Aug 15	352 -12	73 123	339 -4	114 149	345 -13	97 122
Aug 20	356 -11	60 126	343 -3	103 152	350 -12	81 125
Aug 25			347 -2	91 155	355 -11	63 127

			PER	chart 1		
Jul 15			12 51	206 130		
Jul 20			18 52	196 132		
Jul 25			23 54	186 135		
Jul 30			29 55	176 138	KCG	chart 3
Aug 5	NIA	chart 6	37 57	165 143	283 58	156 148
Aug 10	317 -7	179 141	43 58	155 147	284 58	154 149
Aug 15	322 -7	163 142	50 59	146 152	285 59	153 151
Aug 20	327 -6	149 144	57 59	136 158	286 59	151 153
Aug 25	332 -5	134 146	65 60	126 165	288 60	150 155
Aug 30	337 -5	119 148			289 60	149 157
Sep 5	343 -3	101 151				
Sep 10	349 -3	86 154				

	ERI	chart 7	AUR	chart 1		
Aug 20	46 -17	129 104				
Aug 25	50 -16	118 107	76 42	72 130		
Aug 30	53 -15	107 109	82 42	59 139		
Sep 5	58 -13	92 111	88 42	44 152	KAQ	chart 6
Sep 10					331 -5	137 147
Sep 15					335 -4	126 151
Sep 20					339 -2	114 156
Sep 25					343 -0	103 160
Sep 30					347 1	91 165

Tab.3b.: Polohy radiantů jednotlivých rojů seznamu, jednak ve sférických souřadnicích, jednak na listech gnomonického atlasu v různých dnech.

Sep 5	DAU 55 46	chart 1 126 121	SPI 357 -5	chart 7 279 138	SOR 67 -5	chart 4 210 146
Sep 10	60 47	117 127	1 -3	264 144	71 -4	197 148
Sep 15	66 48	107 134	5 -1	250 149	74 -4	185 150
Sep 20	71 48	97 142	9 0	238 155	78 -3	174 151
Sep 25	77 49	86 150	13 2	225 160	82 -3	162 152
Sep 30	83 49	76 159	17 4	213 164	86 -3	151 153
Oct 5	89 49	65 170	21 5	201 169	90 -3	140 153
Oct 10	95 49	53 181	25 7	190 174	94 -3	129 153
Oct 15					98 -3	118 152
Oct 20					101 -3	107 151
Oct 25						

Sep 15	OCC 292 -12	chart 6 269 116	NTA 8 6	chart 7 241 171	STA 11 1	chart 7 230 157
Sep 20	296 -11	250 121	12 7	227 176	15 2	219 161
Sep 25	300 -11	233 126	16 9	214 181	19 4	207 165
Sep 30	305 -10	217 130	21 11	202 186	23 5	196 169
Oct 5	309 -9	203 135	25 12	189 190	27 7	185 173
Oct 10	313 -7	190 139	29 14	177 195	31 8	173 177
Oct 15			34 16	164 200	35 9	162 181
Oct 20			38 17	151 205	39 11	150 185
Oct 25			43 18	138 211	43 12	138 189
Oct 30			47 20	123 217	47 13	126 193
Nov 5			53 21	105 224	52 14	110 198
Nov 10			58 22	87 231	56 15	95 202
Nov 15			62 23	68 239	60 16	79 207
Nov 20			67 24	46 248	64 16	62 212
Nov 25			72 24	21 259	69 17	42 218

Oct 5	GIA 260 54	chart 3 191 137	ORI 85 14	chart 4 154 201		
Oct 10	262 54	188 136	88 15	146 203	EGE 99 27	chart 4 115 242
Oct 15			91 15	137 204	104 27	102 242
Oct 20			94 16	128 206	109 27	88 243
Oct 25			98 16	119 208		
Oct 30			101 17	110 210		
Nov 5			105 17	98 212		

Nov 15	LEO 150 23	chart 8 174 226	AMO 113 -5	chart 4 70 145
Nov 20	153 21	166 218	117 -6	57 142
Nov 25			121 -7	43 138

Nov 25			XOR 75 23	chart 4 180 228	MON 91 14	chart 4 137 202
Nov 30	HYD 122 3	chart 8 260 164	80 23	167 228	96 14	125 202
Dec 5	126 2	246 161	85 23	154 228	100 14	112 201
Dec 10	130 1	233 157	90 23	141 228	104 14	100 201
Dec 15			94 23	129 228		

Dec 5	GEM 103 33	chart 4 104 265			COM 169 27	chart 5 271 266
Dec 10	108 33	90 267			173 26	254 253
Dec 15	113 33	76 268	URS 217 76	chart 2 132 227	177 24	238 243
Dec 20	118 32	60 271	217 74	128 225	181 22	224 234
Dec 25					185 21	212 226
Dec 30					190 18	197 217
Jan 5					194 17	186 211
Jan 10					198 15	174 205
Jan 15						

Tab.3c.: Polohy radiantů jednotlivých rojů seznamu, jednak ve sférických souřadnicích, jednak na listech gnomonického atlasu v různých dnech.

Roj	Orig.aktivita	Zkr. aktivita	Roj	Orig.aktivita	Zkr. aktivita
CAP	Jul 03-Aug 10	Jul 03-Aug 10	NIA	Jul 15-Sep 20	Aug 11-Aug 25
NIA	Jul 15-Sep 20	Aug 11-Aug 25	SPI	Aug 26-Oct 14	Aug 26-Oct 14
NTA	Sep 13-Dec 01	Sep 13-Nov 25	XOR	Nov 16-Dec 15	Nov 26-Dec 15

Tab. 2.: Překrývání dob aktivity blízkých radiantů a konvence řešící priority jejich určování na základě omezení tohoto období.

Distance meteoru od radiantu		15	30	50	70
Standardní rozmer radiantu		14	17	20	23
DCA + NTA + STA	v RA/DEC	20/13	24/18	26/21	34/30
VIR + SAG	v RA/DEC	30/20	31/23	33/26	40/34

Tab. 4.: Rozměry radiantů používané k přiřazení meteorů rojům v závislosti na vzdálenosti meteoru od testovaného radiantu.

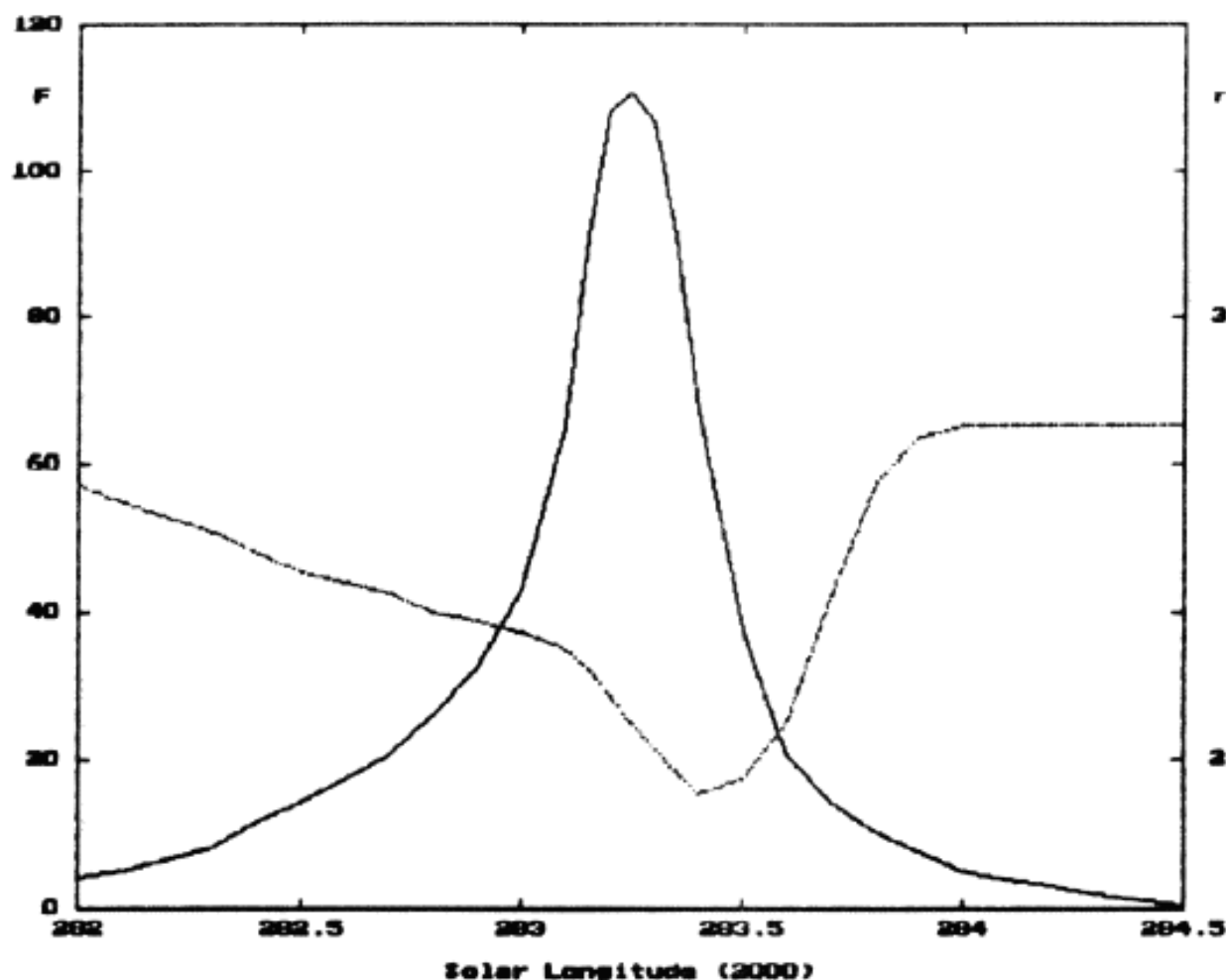
U rojů s více větvemi není pozorovatel často schopen u jednotlivých meteorů udávat příslušnost k větvi roje; potom je materiál zpracován bez specifikace větví a používá se zkratky:  $\delta$ -Aquaridy – DAQ,  $\iota$ -Aquaridy – IAQ, Tauridy – TAU.

Polohy radiantů jednotlivých rojů pro různá data jsou tabelovány zvlášť, v tabulce 3. Tato tabulka (též převzata z mezinárodního návodu) obsahuje pro každý roj jednak polohy radiantu v rektascenzi a deklinaci (oddíl je nadepsán zkratkou roje), jednak jeho pravoúhlé souřadnice na gnomonické mapě Atlasu Brno 2000.0, jejíž použití je IMO doporučeno, tyto souřadnice jsou uvedeny v mm a měřeny od levého dolního rohu map vodorovně a svisle (tento oddíl je nadepsán číslem mapy, například chart 6).

Poslední tabulka této části, (tabulka 4) je zaměřena zcela „pozorovatelsky“. Obsahuje průměry radiantů, používané pro přiřazení rojové příslušnosti meteorů v závislosti na tom, jak byl meteor od radiantu daleko. Při meteorech velmi vzdálených od radiantu je nejistota způsobená zpětným prodloužením stopy značná; při posuzování rojové příslušnosti je nutné o její vliv rozměry radiantu zvětšit. Skutečné střední rozptyly radiantů meteorických rojů jsou od několika minut po  $2^\circ - 3^\circ$ , u některých slabých rojů i více.

### 3.2 Album vybraných meteorických rojů

Na následujících stránkách jsou podrobnější informace o některých meteorických rojích. Rojů je však mnoho a místa, které jim lze věnovat, málo. Bylo sem tedy vybráno jen několik nejznámějších meteorických rojů.



Obr. 6.: Frekvence roje Quadrantid (plná křivka, stupnice vlevo) a hodnota populačního indexu (tečkovaná křivka, stupnice vpravo) v závislosti na délce Slunce. Je vidět, že se minimum  $r$  opoždí za maximem frekvencí, což znamená, že na počátku maxima má roj více slabých meteorů. Dle návodu IMO.

### 3.2.1 Quadrantidy

Jeden ze tří nejaktivnějších pravidelných rojů roku. Jeho název je odvozen z toho, že radiant leží v oblasti, v níž bylo kresleno na starých mapách souhvězdí Zedního kvadrantu, které se ale do mezinárodní nomenklatury později nedostalo (dnes je v tom místě rozhraní souhvězdí Draka, Boota a Herkula). Radiant roje je u nás cirkumpolární, v první polovině noci je ale v dolní kulminaci. První spolehlivá zpráva o pozorování tohoto roje pochází až z roku 1835, souvislejší pozorovací řady existují asi od roku 1863. Maximální frekvence roje kolísají dle starších údajů více než 1:10, tento poměr je ale zřejmě ovlivněn tím, že ne vždy se asi podařilo skutečné maximum pozorovat. Novější údaje redukovávají kolísání maximálních frekvencí na interval od 40 do 200 meteorů za hodinu. Mohutnější návraty se sice obvykle dostávají v krátkých seriích, jejich periodičita ale není jednoznačně jasná. Zdá se však, že pozorovaná minima aktivity by mohla

souviset s poruchami působenými Jupiterem. Poslední velké maximum (asi 180 meteorů za hodinu) bylo pozorováno v roce 1992.

Z dlouhodobých pozorovacích řad i teoretických výpočtů poruch dráhy vychází zpětný pohyb uzlu roje, asi  $-0.41^\circ$  za století. Současná délka uzlu je 283.27 (2000.0). Dráha roje odpovídá dráze komety jupiterovy rodiny s extrémně velkým sklonem. Teprve v posledních letech byla nalezena pravděpodobná identifikace mateřského tělesa, jímž by mohla být periodická kometa P/Machholz objevená v roce 1986, která cyklicky prochází velkými změnami dráhy a která by mohla být i mateřskou kometou  $\delta$ -Aquarid. Na možnou spojitost těchto dvou rojů (o velice vzájemně nepodobných drahách!) poukázali již Hughes, Williams a Murray po výpočtu sekulárních poruch těles roje.

Roj je zajímavý i výraznou diskriminací částic centrálního vlákna dle hmotností, maximum slabých meteorů nastává dříve. Typický průběh frekvencí a populačního indexu je znázorněn na obrázku 6. Pozorovateli je též udávána velká změna plochy radiantu během období aktivity. V období maxima je radiant dobře definován a jeho průměr je menší než  $2^\circ$ , v okrajích aktivity roje roste asi 4 – 5 krát.

### 3.2.2 Lyridy

Spojitost roje a komety Thatcher (1861 I) zjistil Weiss při výpočtu drah komet protínajících dráhu Země. Samotný roj byl ale pozorován už dříve, vysoké frekvence byly zamenány již v roce 1803 (670 meteorů za hodinu), 1847, 1850 a 1860. Ve starých archivech byly nalezeny údaje o vysokých frekvencích v období let 1093 - 1096, 1122 - 1123 a 1136. Pravděpodobná je i souvislost Lyrid s meteorickými dešti v letech 687 a pak 15 před naším letopočtem. Vysoké frekvence byly pozorovány ojedinele i v novější době: 1922 (až 600 meteorů za hodinu), 1945 (112), 1946 (100) a naposled 1982 (200 meteorů za hodinu). Tato ostrá maxima trvají jen několik desítek minut. Obvyklá maximální frekvence roje se pohybuje mezi 10 a 20 meteory za hodinu, toto maximum trvá též jen několik hodin. Ostatní dny v období aktivity potkáváme jen ojedinelé meteory roje.

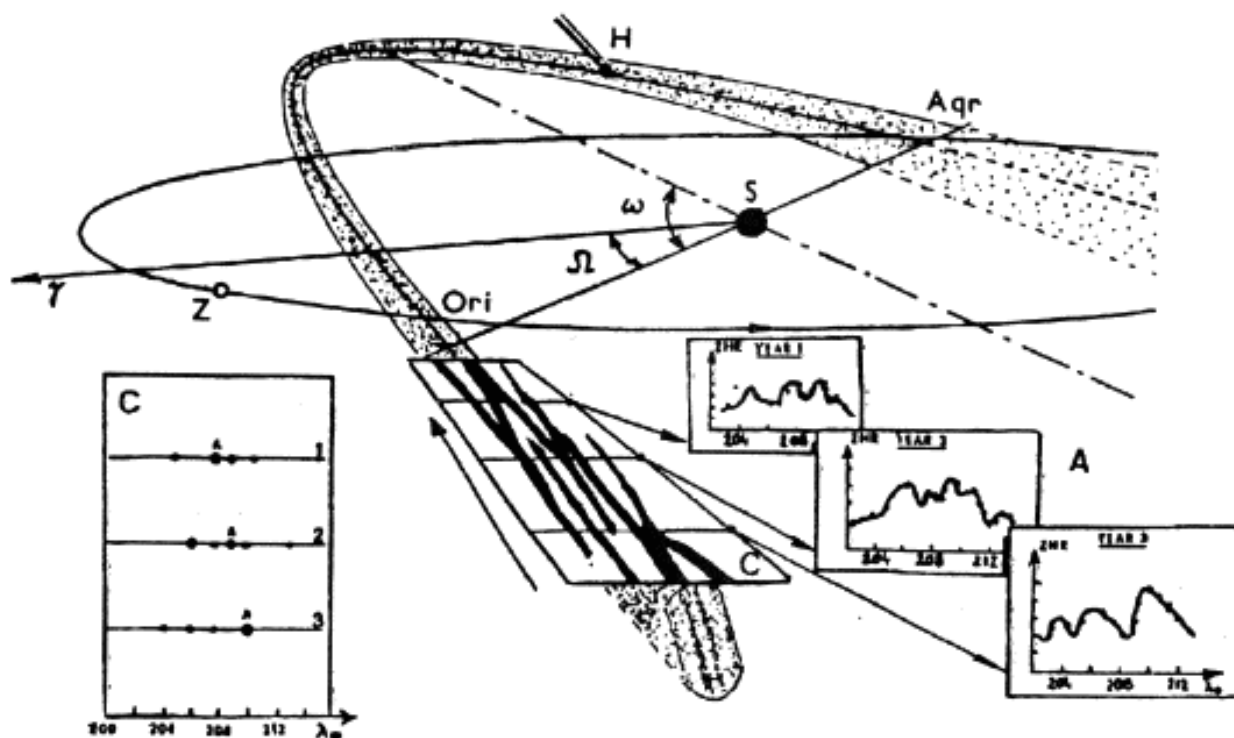
Výrazné kolísání frekvencí roje je zřejmě způsobeno vlivem gravitačních poruch od Saturna, k jehož dráze se dráha roje přibližuje asi na 0.16 AU. Úplná teorie vysvětlující ostrá maxima však doposud chybí.

### 3.2.3 $\eta$ -Aquaridy a Orionidy

Tyto roje oba souvisejí s nejznámější periodickou kometou - kometou Halley. I když dráha této komety dráhu Země neprotíná, je proud částic z ní uvolněných natolik široký, že zasahuje zemskou dráhu dokonce dvakrát: na jaře a na

podzim. V prvním případě leží radiant roje v souhvězdí Vodnáře, je však pro pozorovatele středních šířek severní polokoule položen dost nepříznivě: vychází jen krátce před svítáním. Příznivé pozorovací podmínky roje Aquarid jsou na jižní polokouli. Tento roj je poměrně silný, jeho průměrná hodinová frekvence dosahuje asi 60 meteorů za hodinu, zdá se však, že v první polovině tohoto století byly frekvence poněkud nižší. Oproti tomu byly v dávné minulosti zaznamenány meteorické deště, které by s tímto rojem mohly souviset, a to poprvé v roce 74 před naším letopočtem a pak v letech 401, 466, 905, 927 a 934.

Orionidy mají oproti tomu radiant pro pozorovatele na severní polokouli položen velmi příznivě; vzdálenost mezi drahou komety a Země je ale větší (23 mil. km vůči 10 mil. km) a frekvence roje jsou nižší: obvykle 20 – 30 meteorů za hodinu. V minulosti byly ovšem zaznamenány mohutnější návraty Orionid, i když o meteorické deště zřejmě nešlo. Bylo to v letech 288, 585, 930, 1436, 1439, 1465, 1623 a 1651. V minulém století se zřejmě roj výrazněji neprojevoval



Obr. 7.: Schema roje Orionid. Na obrázku jsou znázorněny dráhy Země (Z) a komety (H) kolem Slunce (S) a meteorický roj v dráze komety, v blízkosti uzlů se setkává se Zemí jako  $\eta$ -Aquaridy (Aqr) a Orionidy (Ori). Na příčném a podélném (C) průřezu rojem je znázorněna předpokládaná „vláknitá struktura“. Jsou znázorněny frekvenční křivky odpovídající tomuto řezu (A) a z nich odvozená maxima. Polohy maxim a jejich typické posuny (výrazného maxima A) jsou zachyceny na schematu C vlevo dole. Obrázek zjednodušen z návodu IMO.

a nebyla mu věnována pozornost, prvá novodobá pozorování jsou až z 90-tých let.

Vzhledem k velké vzdálenosti rojů od dráhy komety nepozorujeme centrální vlákno a setkáváme se s roji velice daleko od uzlů dráhy komety (u Orionid až  $30^\circ$ ). Křivky aktivity obou rojů jsou velmi ploché a na nich jsou pozorována četná vedlejší maxima a minima svědčící o složité struktuře rojů, která je nejspíše podobná svazkům spolu propletených vláken. Vedlejší maxima budí dojem, že mnohá takto zdeformovaná „vlákna“ pozorujeme po několik let, při čemž se rok od roku posunují k pozdějším datům a jsou postupně nahrazována novými vlákny. Schematicky je očekávaná prostorová struktura těchto rojů znázorněna na obrázku 7.

Populační index se během aktivity těchto rojů velmi mění; jeho změny jsou však podrobněji prostudovány pouze u Orionid. Nejvyšších hodnot nabývá hned na počátku aktivity roje; v maximech aktivity a na konci bývá nižší. Na těchto změnách se zřejmě zčásti podílí Poynting-Robertsonův efekt. Stáří nejmladších pozorovaných částí těchto rojů je dle výpočtů poruch asi 1000 let, respektive u Orionid asi 2300 let, průměrné stáří roje je ale pravděpodobně několik desítek tisíc let.

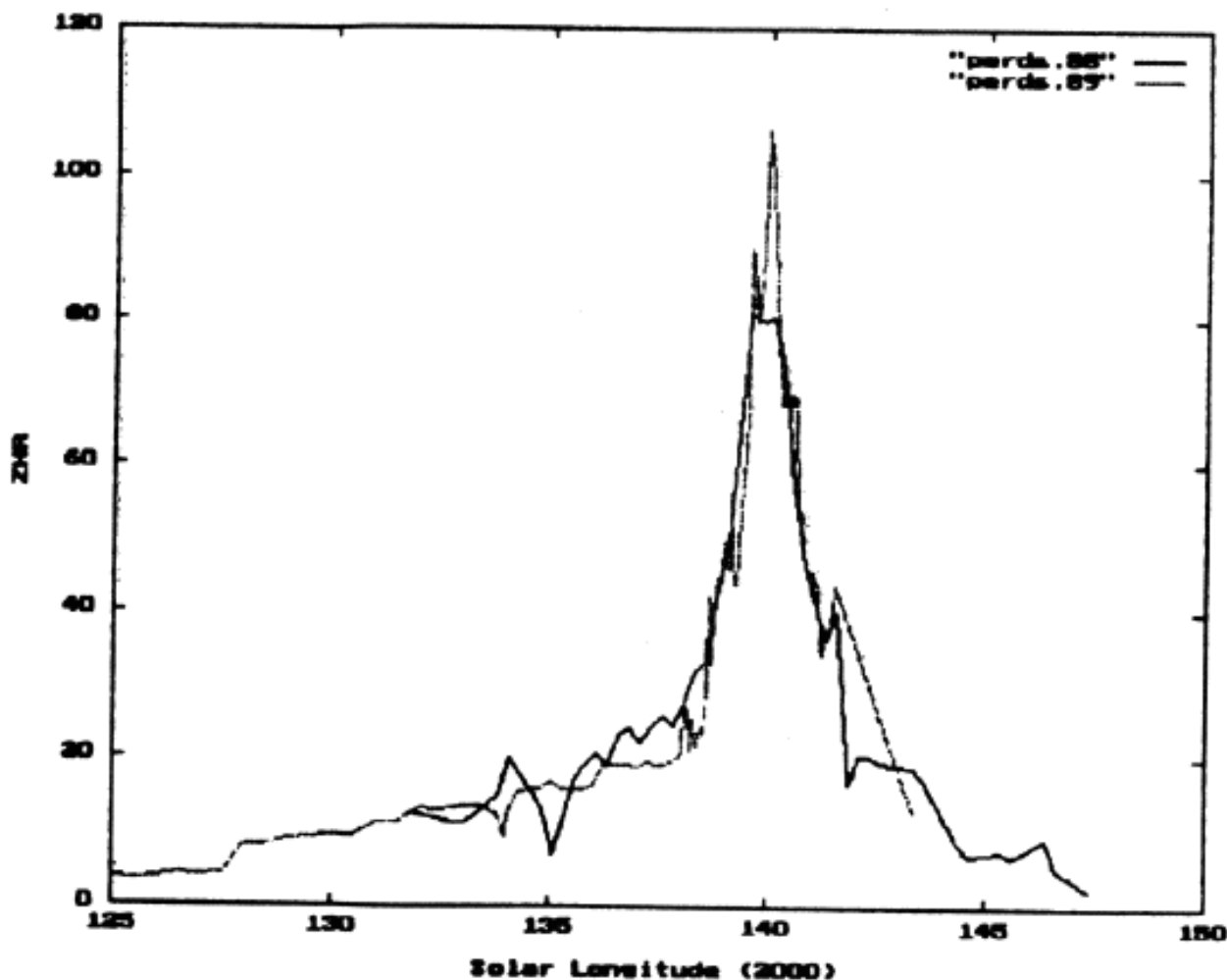
### 3.2.4 $\delta$ -Aquaridy

Tento roj má dvě výrazné větve: severní a jižní. Prvé novodobé zprávy o tomto roji pocházejí od Newtona z roku 1850. Systematicky jej ale sledoval až v letech 1869 až 1899 Denning. Větve roje rozlišil Corder v roce 1894. Stará pozorování mluví o meteorických deštích v letech 714 a 784. Pro pozorovatele středních šířek severní polokoule je naneštěstí radiant jižní větve jen dost nízko nad obzorem. S rojem je spojen ještě roj denních Arietid aktivní počátkem června, který je pro radary vůbec nejsilnějším rojem. Jak se zdá, potkáváme u delta-Aquarid jen okraj velice mohutného proudu. Od nás je lépe pozorovatelná severní větev roje, která obsahuje poměrně mnoho teleskopických meteorů (na rozdíl od jižní větve i Quadrantid). Maximum slabých meteorů roje nastává asi o 3 dny dříve, než meteorů jasných.

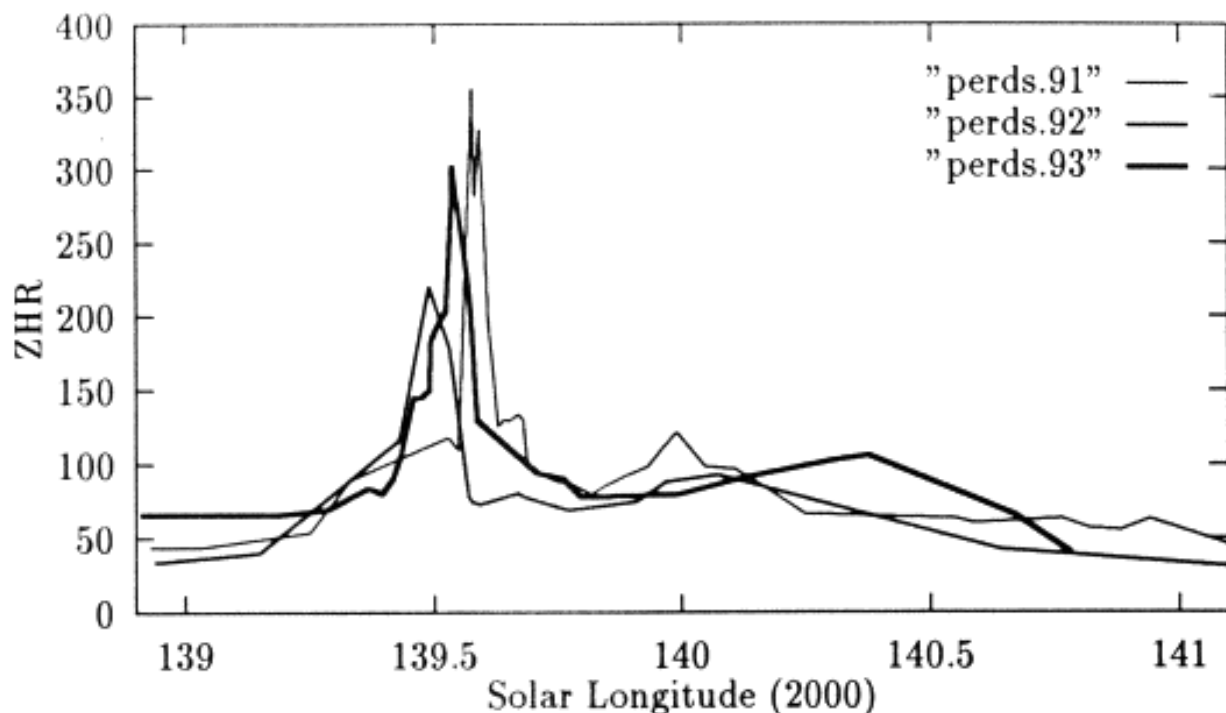
Roj je velmi zajímavý i charakterem dráhy; hlavně velmi malou vzdáleností perihelu (částice roje prolétají jen 10 milionů km nad povrchem Slunce!). Jeho vizuální sledování je značně obtížné, ve stejnou dobu se v blízkosti radiantů  $\delta$ -Aquarid nacházejí i radianty dalších rojů (hlavně  $\iota$ -Aquarid), spolehlivé přiřazení jednotlivých meteorů větvím roje je proto problematické.

### 3.2.5 Perseidy

Nejznámější meteorický roj vůbec; byl prvním rojem u něhož byla prokázána souvislost s kometou (P/Swift-Tuttle) již v roce 1866. Patří do trojice nejsilnějších pravidelných rojů a má velmi dlouhé období aktivity (od poloviny července téměř do konce srpna). Křivka frekvencí roje je výrazně asymetrická (obrázek 8), což nemůže vzhledem k velkému sklonu dráhy souviset s Poynting-Robertsonovým efektem. Změny strmosti luminositní funkce (sice dosti výrazné, ale s velkými rozdíly mezi určeními různých autorů, zvláště v okrajových oblastech roje) spíše souvisejí se složitou strukturou roje. V oblasti hlavního maxima klesá populační index k hodnotě asi 2.4, po hlavním maximu roste až téměř k 3.0, před ním se pohybuje kolem 2.6. Ostrá maxima v letech 1991 až 1993 měla hodnotu populačního indexu dokonce pod 2.0. Z křivky frekvencí je vidět růst frekvence asi do 7. srpna; pak dojde k jakémusi „zastavení“ a tepr-



Obr.8.: Frekvence Perseid v letech 1988 a 1989. Je vidět, že frekvenční křivky z obou let spolu prakticky splývají, významnější rozdíly jsou patrné jen kolem maxima, v němž převažuje kolísající aktivita mladší složky roje. Před maximem je dobře vidět plochá oblast frekvenční křivky.



Obr. 9.: Maxima Perseid v letech 1991, 1992 a 1993. Kromě obvyklého maxima (v tomto měřítku ploché maximum u  $140.0^\circ$ ) jsou patrna ostrá maxima vlevo vyvolaná mladým oblakem.

ve po něm prudce stoupne frekvence do hlavního maxima. Pokles z hlavního maxima je pomalejší než vzestup, ale probíhá plynule až do vymizení aktivity roje. Od roku 1991 (respektive v menší míře již od konce 80-tých let) se v roji Perseid projevuje přítomnost velmi mladého oblaku v těsné blízkosti mateřské komety výskytem vysokých ostrých maxim činnosti (obrázek 9).

Nejstarší pozorování tohoto roje je už z roku 36, často byl sledován v 9. až 11. století. Zvláště mohutné byly pravděpodobně návraty v letech 466, 835, 841, 924, 926, 933 a 1042; nověji pak 1451, 1590 a 1645. Pravidelnější pozorovací řady jsou od roku 1783. Vysoké frekvence byly pozorovány v letech 1861 a 1862.

V současné době lze roj pokládat zřejmě za superposici tří složek: „staré“ (se stáří asi 20000 – 50000 let), která má plochou frekvenční křivku s maximem kolem 8. srpna (15 meteorů za hodinu) a s trváním asi 5 týdnů; „novější“ (se stáří asi 2000 let) s výrazným maximem 12. srpna (asi 80 meteorů za hodinu) a s trváním asi 5 dnů; „recentní“ složku, starou jen 130 – 500 let, která je oblakem, s nímž se Země setkává v blízkosti komety s aktivitou asi po 2 hodiny a s frekvencí několik set meteorů v hodině. Zatímco „stará“ složka má frekvence poměrně stálé (obrázek 8), frekvence „novější“ složky mohou rok od roku kolísat. Kupodivu jsou údaje různých autorů o jejich frekvencích v jednotlivých letech dost rozporné, zdá se ale, že se v těchto kolísáních projevuje jednak zhruba 12-tiletá perioda (způsobená zřejmě poruchami ze strany Ju-

pitera), jednak je spolehlivost dat asi ovlivněna složitou stavbou této složky, která má pravděpodobně „filamentární strukturu“, i když méně výraznou než Orionidy.

### 3.2.6 Drakonidy

Dosti typický příklad roje komety jupiterovy rodiny. Dráha komety Giacobini-Zinner se před rokem 1926 začala vlivem poruch přibližovat k dráze Země. V roce 1926 byly (na Crommelinovo upozornění) pozorovány první meteory náležející této kometě. V roce 1933 ale nastal skutečný meteorický déšť (Země prošla průsečíkem drah 80 dní po kometě). Frekvence se pohybovaly mezi 100 a 450 meteory za minutu. Jev se opakoval v roce 1946; frekvence byly kolem 7000 meteorů za hodinu (Země prošla 16 dní za kometou). Vzhledem k vysokému počtu slabých meteorů v obou deštích a velmi špatným pozorovacím podmínkám v roce 1946 je obtížné rozhodnout, který z těchto zjevů byl mohutnější. Slabší návraty byly pozorovány ještě v letech 1952 (asi 200 meteorů za hodinu), 1972 (42 meteory za hodinu) a 1985 (asi 200 meteorů za hodinu). Další šance, i když dost malá, bude v roce 1998, kdy projde Země průsečíkem drah 44 dnů před kometou. Stálé poruchy dráhy komety (i když poměrně malé) dávají malou šanci na opakování meteorických dešťů z let 1933 a 1946.

### 3.2.7 Tauridy

Mohutný velmi rozptýlený proud, nejvydatnější část komplexu meteorického materiálu souvisejícího s kometou Encke. S jednotlivými složkami této soustavy se Země setkává od června do prosince. Je při tom nutné si uvědomit, že v současné době Země prochází 0.19 AU od dráhy komety. Celá soustava je zřejmě velice stará; celková hmotnost jejích částic pravděpodobně představuje dost významný podíl z veškeré meteorické hmoty, se kterou se Země setkává. Roj má dvě větve, starší a rozptýlenější severní větev a mladší jižní. Roj je znám mnoha bolidy; dle starých záznamů o bolidech se zdá, že byl aktivní již v 11. století. Vzhledem k tomu, že jeho frekvence nejsou příliš vysoké, je ale pravidelněji sledován až od roku 1892.

Poměrně vysoká aktivita komety Encke (přítomnost „stopy“ ve dráze, zjištěné i za nepříznivých geometrických podmínek; negravitační efekty v pohybu komety) svědčí o tom, že systém je stále ještě v rychlém vývoji. Při zpětném výpočtu je zřejmé, že původní těleso, jehož je kometa Encke pozůstatkem, muselo být skutečně impozantní kometou.

### 3.2.8 Andromedidy

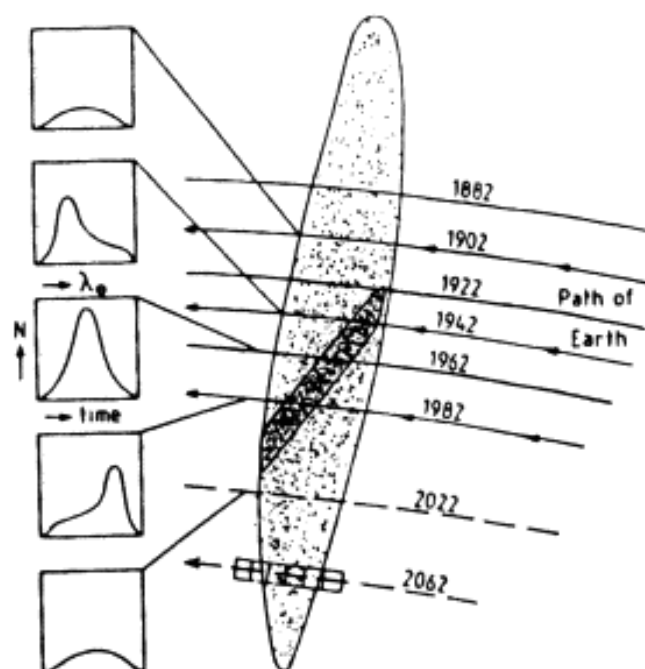
Další příklad roje komety jupiterovy rodiny, dokonce slavnějšího než Drakonidy. Na blízkost dráhy komety Biela k dráze Země upozornil Weiss (1867); Andromedidy byly ale asi pozorovány již v letech 1741, 1798 a 1830; bezpečně pak v letech 1838, 1847 a 1867. Slavné se ale staly svými dvěma meteorickými dešti v letech 1872 a 1885, kdy frekvence dosahovaly asi 20000 meteorů za hodinu. Ke slávě zřejmě přispěl i v roce 1845 pozorovaný rozpad komety Biela, jejíž složky byly pozorovány ještě při příštím návratu v roce 1852. Dnes je jasné, že tento rozpad nemohl s pozorovanými meteorickými dešti nijak souviset, protože meteory deště v roce 1872 musely být mnohem starší. Faktem však zůstává, že pozorování tehdy podpořila teorii o těsném genetickém vztahu mezi meteorickými roji a kometami. Naposled byly Andromedidy ve větším počtu pozorovány v roce 1892 (asi 150 meteorů za hodinu). Ojedinelé meteory roje potkáváme dodnes, jejich dráhy jsou ale poruchami velmi rozptýleny. Trochu vyšší frekvence byly ještě pozorovány v roce 1940 (30 meteorů za hodinu) a snad také počátkem 50-tých let. Jak se ale zdá, historie Andromedid už skončila.

### 3.2.9 Leonidy

Tento roj byl naší Zemi „znovu navrácen“. Nejlépe jej lze popsat jako superposici slabého proudu, jímž Země prochází asi 6 dnů s velmi hustým oblakem v blízkosti mateřského tělesa, komety Tempel-Tuttle s oběžnou dobou 33.2 roku. Prvé meteory oblaku potkáváme asi 3 roky před kometou, meteorické deště se ale obvykle dostavují až 1 rok po průchodu komety křižovatkou drah; oblak končí asi 6 let za kometou.

Poslední meteorický déšť Leonid se dostavil v roce 1966, byl pozorovatelný ze západních oblastí Ameriky a z Tichomoří; frekvence ve velmi krátkém maximu (trvajícím jen desítky minut) dosáhly asi 2500 meteorů za minutu. Značná část meteorů byla velmi jasných (frekvence bolidů byla asi 15 za minutu). Zvýšené frekvence (asi 100 meteorů za hodinu a více) byly pozorovány od roku 1965 do 1969. Pozorovaný oblak je zřejmě jevem recentním; jeho materiál musí být stále doplňován. Zdá se, že „životní doba“ částice v oblaku není delší než asi 6 oběhů komety.

Mateřská kometa roje je poměrně malým tělesem; byla sice už pozorována při 4 návratech, ale až na dva (1866 a 1965) vždy jen po několik dní za mimořádně příznivé polohy vůči Zemi (1366 a 1699); většinu návratů nebyla vůbec nalezena. Nyní se blíží do přisluní, jímž projde počátkem roku 1998. Od roku 1994 by se mohla začít projevovat zvýšená aktivita Leonid; v roce 1997 budeme na křižovatce drah 108 dnů před kometou, v roce 1998 257 dnů po ní. V roce 1998 je tedy značná naděje na zvlášť mohutný návrat Leonid.



Obr. 10.: Schematický příčný řez rojem Geminid, Země v různých letech prochází jeho různými částmi. V roji je výrazná oblast vyšší koncentrace částic (orámovaná). Vlevo je znázorněno, jak se v různých letech mění křivky frekvencí roje. Dle návodu IMO.

### 3.2.10 Geminidy

Poslední z trojice neaktivnějších pravidelných rojů. V dráze roje se pohybuje planetka Phaeton, objevená v roce 1983, která je zřejmě pozůstatkem mateřského tělesa (nejpravděpodobněji jádrem staré, dávno „vyhaslé“ komety). Geminidy patří k rojům s velmi malou periheliovou vzdáleností (0.139 AU) a malou délkou velké poloosy (pouze 1.35 AU). Těmito hodnotami je mezi hlavními roji extrémní. Častěji se ovšem setkáme s podobnými drahami u slabých rojů. Protože dráha roje zasahuje jen do prstenu planetek, jsou tělesa s výrazným vlivem na jeho vývoj planety Země a Venuše, jejíž dráhu kříží také. Meteory roje tvoří dosti široký proud, jímž Země prochází 10 dnů, maximum roje ale trvá jen asi den.

Starověká pozorování neprokazují jednoznačně aktivitu roje; prvá spolehlivější zpráva je z roku 1830 a roj je pravidelněji sledován od roku 1892. Až do konce první čtvrtiny tohoto století byly frekvence Geminid dost nízké, vyšší hodnoty jsou zaznamenávány až od 40-tých let. Přitom se s průběhem let měnil i tvar frekvenční křivky roje. Jak se zdá, je současná poměrně vysoká aktivita Geminid jen dočasnou záležitostí, trvající po období, v němž potkáváme hustší strukturu v roji. Schema příčného řezu rojem se znázorněním drah Země v různých dobách a jim odpovídající křivky frekvencí jsou na obrázku 10.

Geminidy patří k rojům, u nichž se výrazně mění populační index. Během maxima klesá a vlivem toho je maximum slabých meteorů roje širší než maximum jasných a nastává dříve; asi o 2.7 hod na magnitudu.

## 4 Sporadické meteory

Značnou část meteorů nelze ztotožnit se žádným ze známých meteorických rojů. Tyto meteory nazýváme *sporadickými* a souhrnnou aktivitu jimi způsobenou *sporadickým pozadím*. Frekvence sporadických meteorů je obvykle v rozmezí 5 až 15 meteorů za hodinu; v závislosti na denní a roční době a na zeměpisné šířce pozorovacího místa.

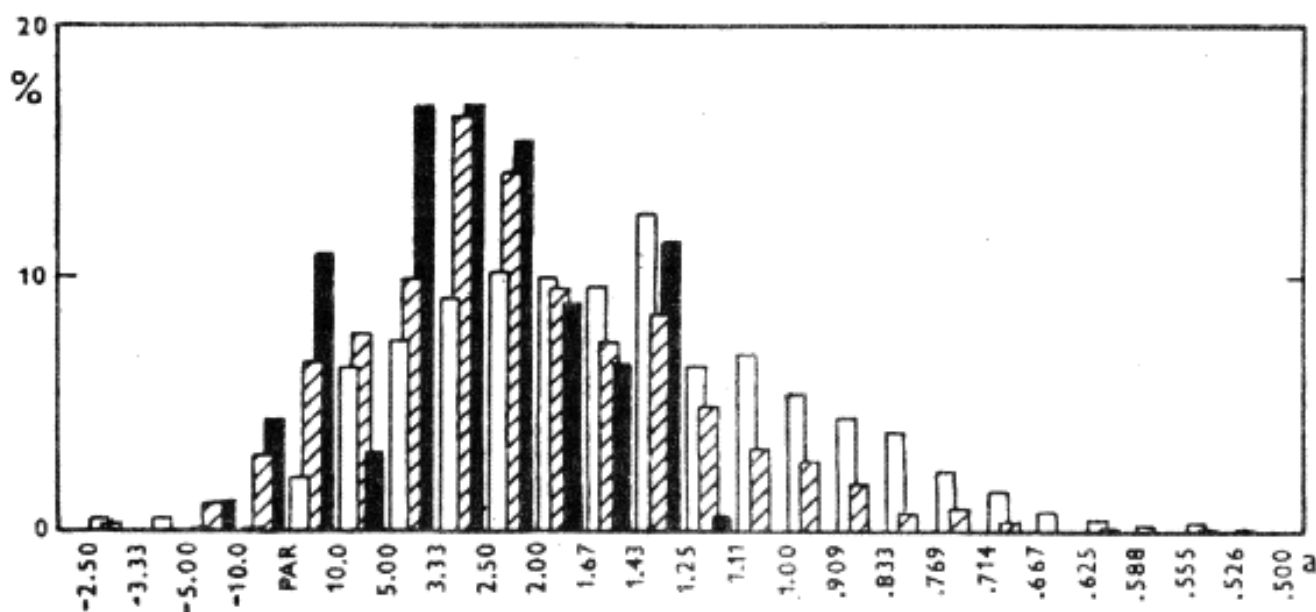
Vznik sporadických meteorů lze vysvětlit snadno: po rozpadu mateřských těles jsou si dráhy jednotlivých částic velmi podobné a pozorujeme meteorický roj. Během delších časových údobí ale rozdíly mezi těmito drahami narůstají vlivem rozdílů v gravitačním působení planet na jednotlivá tělíška, ve velikosti Poyting-Robertsonova efektu a podobně. Protože je počet jednotlivých mateřských těles meziplanetární látky poměrně velký, dojde postupně k „promíchání“ drah jednotlivých částic vzniklých jejich rozpadem do té míry, že se rozlišení původních mateřských těles dle drah těchto úlomků stane principiálně nemožné. K tomuto pozadí navíc přispívají extrémně slabé meteorické roje s frekvencemi tak nízkými, že je od prve zmíněné složky nelze žádnou současnou pozorovací technikou a technikou statistického vyhodnocení dat oddělit.

Proto je spíš podivné, že je vlastně sporadických meteorů tak málo. To je způsobeno tím, že životní doba tělesa způsobujícího v atmosféře vizuální meteor je ve sluneční soustavě řádově statisíce let. V kosmickém prostoru totiž tělíško postupně podléhá kosmické erosi v důsledku srážek s částicemi prachu a vysoce-energetickými částicemi; srážky s hmotnějšími tělísky vedou k jeho fragmentaci nebo i vypaření. Stav, který pozorujeme, tedy jednak meteorické roje, jednak sporadické pozadí, je důsledkem dynamické rovnováhy mezi procesy rozpadu rojů (a tím i rozpadu jejich mateřských těles) a procesy desintegrace tělísek meziplanetární látky.

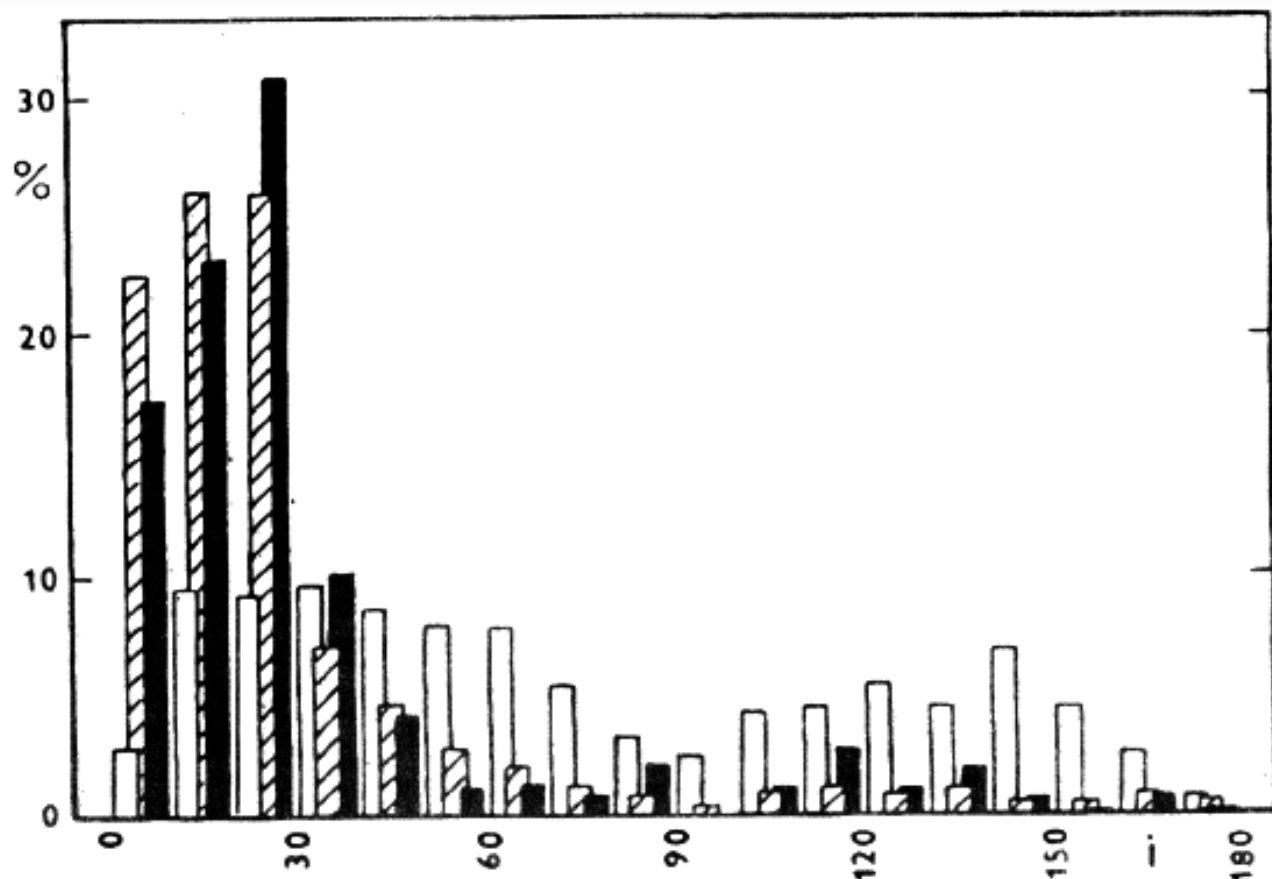
### 4.1 Dráhy sporadických meteorů a denní a roční variace

Z předešlých odstavců je zřejmé, že rozložení drah sporadických meteorů bude do určité míry podobné rozložení drah meteorických rojů. Rozdíly v četnostech výskytu různých hodnot jednotlivých dráhových elementů mezi sporadickými a rojovými meteory jsou způsobeny jednak přítomností hlavních rojů, které na četnostních křivkách vytvářejí ostrá maxima, jednak tím, že roje o různých drahách mají různou životní dobu; zvláště roje komet Jupiterovy rodiny

jsou rozptýleny velice rychle. Rozdělení velkých poloos drah meteorů různých jasností je znázorněno sloupcovým diagramem na obrázku 11. Podobně je na obrázku 12 znázorněno rozdělení sklonů drah. Z obrázků je především vidět, že různě hmotná tělesa mají různé distribuční funkce elementů svých drah. I když jsou uvedené distribuce jen relativní, protože jsou zkresleny jednak v důsledku různých průměrných rychlostí meteorů různých skupin (a tím i různé hmotnosti tělísek), jednak vlivem různých pravděpodobností setkání tělísek o různých drahách se Zemí, v kvalitativním obrazu nedojde k podstatným změnám. Z obrázku 11 je vidět především převahu dlouhoperiodických drah u jasných meteorů nad drahami krátkoperiodickými; u slabých meteorů je naopak počet krátkoperiodických drah vysoký. Ze statistik sklonů drah (obrázek 12) je zřejmý pokles zastoupení drah kolem sklonu  $90^\circ$  daný menší pravděpodobností srážek těchto tělísek se Zemí a hlavně velký počet slabých meteorů na retrográdních drahách (se sklonem přes  $90^\circ$ , tedy obíhajícími proti směru pohybu planet). Zatímco pro retrográdní dráhy jasných meteorů jsou charakteristické velké hodnoty velkých poloos (pocházejí většinou z dlouhoperiodických komet), mají slabé meteory retrográdní dráhy s malými výstřednostmi, často dost blízké kruhovým drahám. Tento zvláštní typ drah se nazývá *toroidální dráhy*. Rozdíly v zastoupení drah se pochopitelně projeví i v rozdílech mezi rozložením radiantů slabých



Obr. 11.: Sloupcový diagram rozdělení velkých poloos drah meteorů. Intervaly tabelace jsou odstupňovány po  $1/a = 0.1 \text{ AU}^{-1}$  a trojice sloupců v intervalu znázorňuje pozorované četnosti slabých meteorů (asi 4 - 7 mag, prázdné sloupce) dle radarových dat, jasnějších vizuálních meteorů (asi 0 - 3 mag, šrafované sloupce) dle výsledků ze superschmidtových komor a fotografických meteorů (asi -4 až -1 mag, plně sloupce) dle fotografických údajů, které shromáždil Whipple.

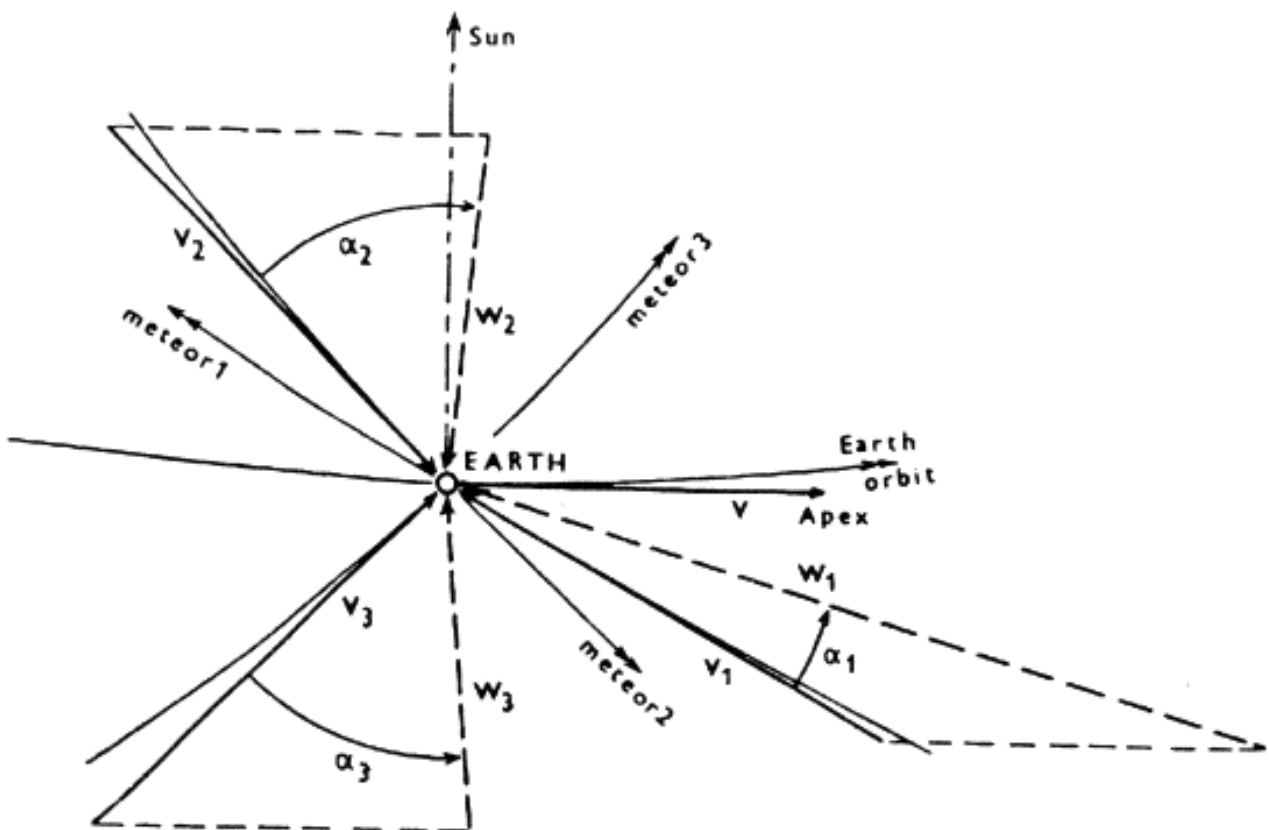


Obr. 12.: Sloupcový diagram rozdělení sklonů drah meteorů. Intervaly tabelace jsou po  $10^\circ$ . Podrobnější legenda je u minulého obrázku.

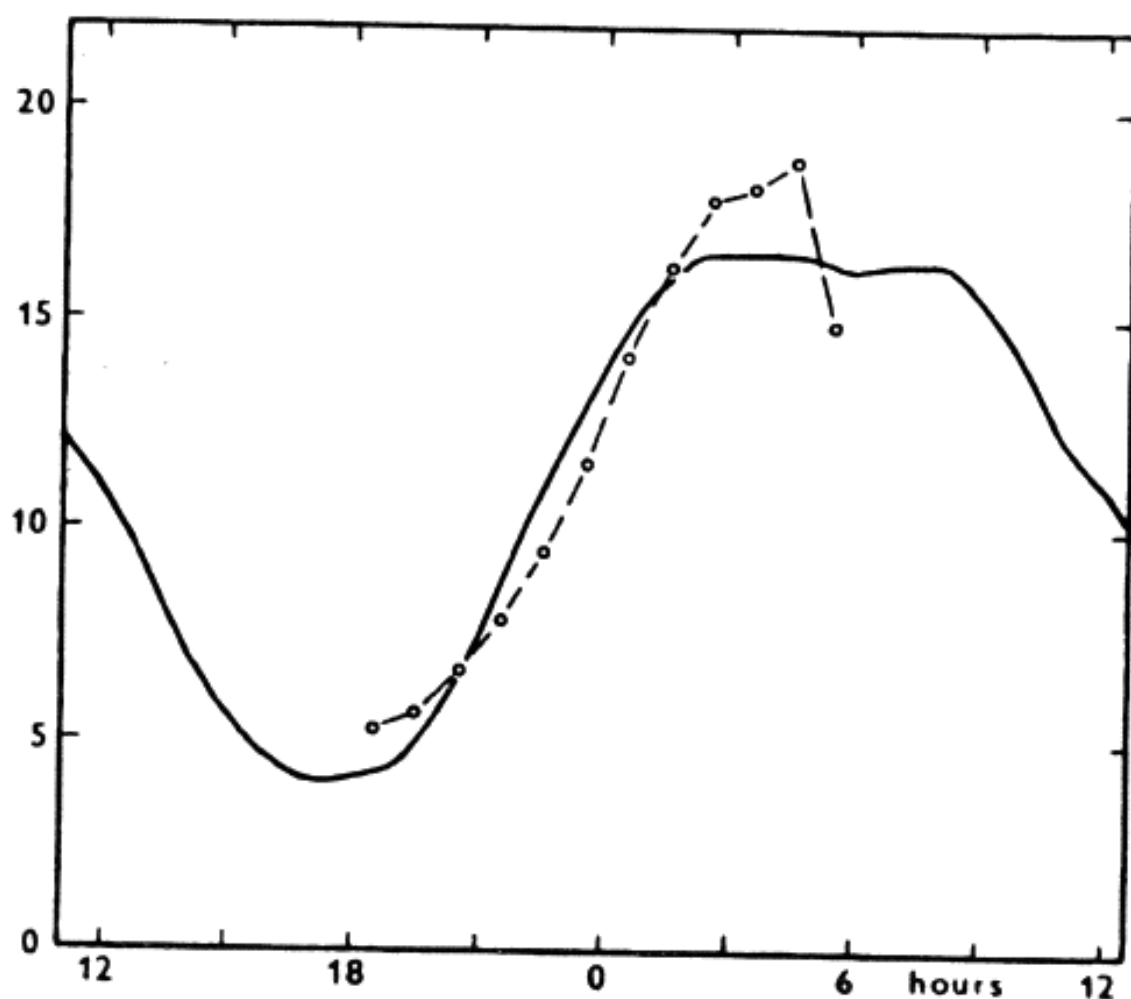
a jasných meteorů na obloze.

Polohy radiantů sporadických meteorů se určují obtížněji než polohy radiantů meteorických rojů. Na rozdíl od meteorických rojů nelze použít statistických metod a je nutné určovat polohy radiantů pro jednotlivé sporadické meteory jejich pozorováními z více stanic. Prvé úvahy o rozložení radiantů sporadických meteorů proto vycházely ze změn jejich pozorovaných frekvencí a teoretických modelů. Základní představa byla jednoduchá: vektory rychlostí meteorů jsou rozloženy náhodně a meteory se setkávají se Zemí, která se kolem Slunce pohybuje po kruhové dráze. V důsledku skládání vektorů rychlostí meteorů s vektorem rychlosti Země můžeme pozorovat soustředění radiantů k apexu, tedy k bodu, k němuž směřuje Země na své dráze kolem Slunce. Tento posun radiantů k apexu je vidět z obrázku 13. Jev je zcela analogický se silnějším zastříkáním předního skla automobilu jedoucího v dešti ve srovnání s postranními nebo zadními okny. Model souhlasil se změnami frekvence sporadických meteorů během noci; večer pozorujeme minimum frekvencí, ráno, kdy vrcholí apex, jejich maximum. Tyto změny frekvencí sporadických meteorů nazýváme *denní variací* a jsou znázorněny na obrázku 14. Změny výšky apexu nad obzorem během roku mají způsobovat i *roční variaci*. Roční variace frekvencí sporadických meteorů

by měla dát pro pozorovatele severní polokoule minimum frekvencí v březnu a maximum v září; na jižní polokouli by to mělo být obráceně. Pozorování ze severní polokoule tento jev potvrdila. Prvá potíž vznikla z toho, že rychlosti meteorů odvozené z tohoto modelu byly vysoce hyperbolické. Semikvantitativně byla vyřešena předpokladem, že mezi meteory převládají tělesa o přímých drahách, tedy pohybující se ve směru pohybu planet. Definitivně nastal konec tohoto jednoduchého modelu poté, co byla získána rozsáhlejší pozorování sporadických meteorů z jižní polokoule; z nich se zjistilo, že průběh roční variace na jižní polokouli není zrcadlovým obrazem jejího průběhu z polokoule severní (obrázek 15).



Obr. 13.: Skládání vektorů rychlosti meteorů a oběžné rychlosti Země. Vektory heliocentrických rychlostí jsou označeny  $V_i$ ,  $V$  je vektor rychlosti Země,  $W_i$  jsou vektory geocentrických rychlostí meteorů. Úhly, o které se směry letu meteorů „potočily“ směrem k apexu, jsou označeny  $\alpha_i$ . Meteor číslo 1 přilétá po retrográdní dráze, meteory čísel 2 a 3 se pohybují po přímých drahách s malou periheliovou vzdáleností a sklonem a dokumentují vznik helionového a antihelionového zdroje.



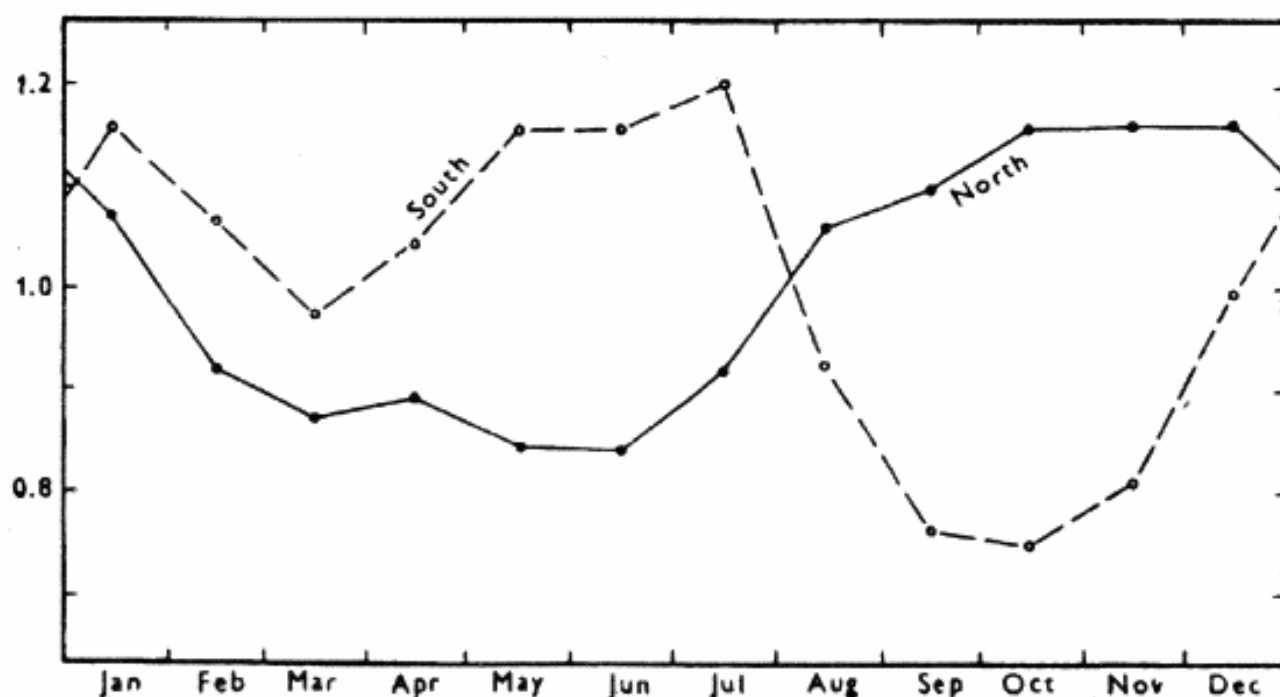
Obr. 14.: Denní variace frekvencí sporadických meteorů. Kroužky jsou označeny průměrné celoroční frekvence dle pozorování Schmidta, plná čára znázorňuje několikaleté průměry dle radarových pozorování z jižní polokoule. Pro radarová data je třeba hodnoty na stupnici frekvencí násobit deseti.

## 4.2 Zdroje sporadických meteorů

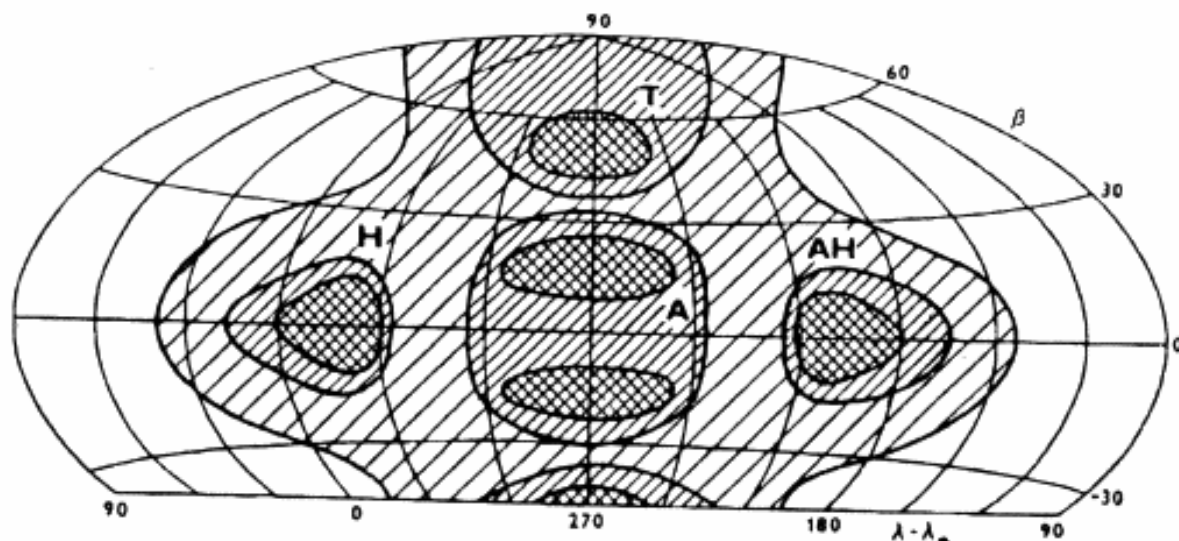
Rozdělení radiantů sporadických meteorů po obloze je dáno složitou souhrou rozdělení drah meteorických tělísek, skládáním jejich pohybů s pohybem Země a řady výběrových efektů, počínaje rozdíly v pravděpodobnosti střetnutí těles na různých typech drah se Zemí a konče vlivem rychlosti střetnutí na jasnost a tím i pozorovatelnost meteoru. Základní poznatek – soustředění radiantů meteorů na polokouli přivrácené k apexu zůstal v platnosti, v podrobnostech se však celkový obraz dost podstatně změnil. Schema rozdělení radiantů sporadických meteorů v ekliptikálních souřadnicích je znázorněno na obrázku 16. Uprostřed obrázku je vidět apexový zdroj s dvojitou strukturou způsobenou lokálním minimem drah se sklonem blízkým nule. Mimo něj jsou patrné ješ-

tě čtyři další zdroje. Dva z nich leží na ekliptice symetricky vůči apexu: první z nich je *helionový zdroj* s radianty ležícími blízko Slunce (ojedinělé meteory z tohoto zdroje mohou být pozorovány ráno za svítání), druhý je *zdroj antihelionový*, který vrcholí asi hodinu po půlnoci místního času. Oba zdroje souvisejí se stejným typem drah: s drahami o malém sklonu a s poměrně malou vzdáleností perihelu od Slunce (pod 0.6 AU). Skládání vektorů rychlostí meteorů s pohybem Země a vznik helionového a antihelionového zdroje je znázorněn na obrázku 13 meteory 2 a 3. Při srážce tělíska se Zemí před průchodem perihelmem leží jeho radiant v antihelionovém zdroji; jestliže ke srážce dojde po průchodu perihelmem, leží ve zdroji helionovém. Meteory o velkých sklonech drah mají radianty v oblastech *toroidálních zdrojů*, které leží v ekliptikálních šířkách asi 50° severně a jižně od apexu (na obrázku 16 je označen jen severní zdroj).

Rozdělení radiantů sporadických meteorů znázorněné na obrázku 16 je jen schematické, během roku se vydatnost a do určité míry i poloha jednotlivých zdrojů mění. Nejnápadněji kolísá v průběhu roku ekliptikální šířka severního toroidálního zdroje. Změny vydatnosti jednotlivých zdrojů v průběhu roku nejsou dosud podrobně prostudovány, nejúplnější údaje byly získány ze severní polokoule a pokrývají letní období. Údaje o jižním toroidálním zdroji téměř chybí. Proměnlivost jednotlivých zdrojů sporadických meteorů je zřejmě reliktem po



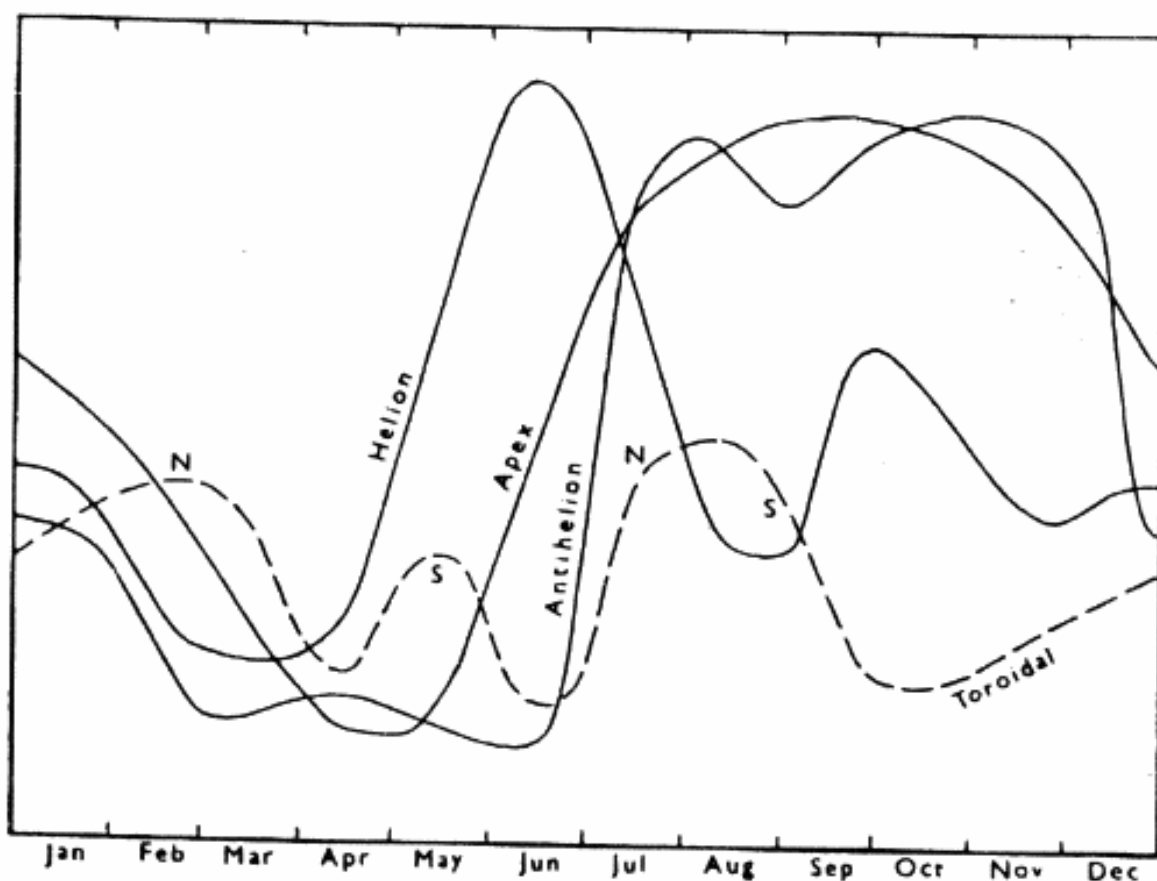
Obr. 15.: Roční variace frekvencí meteorů dle radarových pozorování ze severní (plné kroužky a souvislá čára) a z jižní polokoule (prázdné kroužky a čárkovaná čára). Údaje jsou přepočteny vzhledem k průměrné celoroční hodnotě a byla od nich odečtena aktivita významnějších meteorických rojů.



Obr. 16.: Schema rozložení radiantů sporadických meteorů v ekliptikální soustavě souřadnic vztažené vůči Slunci. V obrázku jsou křížovým šrafováním znázorněny nejaktivnější části jednotlivých zdrojů radiantů sporadických meteorů, řídkým šrafováním celá oblast, v níž je počet radiantů zvýšen. Jednotlivé zdroje jsou označeny písmeny: **A** je apex, **H** helionový zdroj, **AH** antihelionový zdroj a **T** severní toroidální zdroj. Jižní část oblohy s jižním toroidálním zdrojem není pro nedostatek dat vyznačena.

hlavních rojích, z nichž byly tyto zdroje doplňovány. Studie tohoto typu jsou však dosud pouze v počátcích. Dost spolehlivě je známo, že značná část helionového zdroje v období od května do července a antihelionového zdroje od září do prosince souvisí s meteorickými roji komety Encke (která se tím stává nejvydatnějším původcem meteorické hmoty v okolí dráhy Země).

Pokusem o kvalitativní znázornění kolísání vydatnosti jednotlivých zdrojů sporadických meteorů v průběhu roku je obrázek 17, který byl sestaven kompilací z různých radarových dat (a zčásti i z teleskopických pozorování) a je proto zatížen řadou instrumentálních chyb. V obrázku jsou také zachycena období s výchyly polohy toroidálního zdroje od průměru směrem k jihu (S) a směrem k severu (N). Z obrázků 11 a 12 vidíme, že rozdělení drah meteorů závisí i na jejich jasnosti. Tyto rozdíly se pochopitelně promítají i do vydatnosti jednotlivých zdrojů, jejich populační indexy  $r$  se proto od sebe dost liší. Nejvyšší hodnotu populačního indexu mají toroidální zdroje, nejnižší má apexový zdroj. V důsledku toho apexový zdroj dominuje v oblasti jasných fotometeorů, zatímco v oboru vizuálních meteorů bývá často zastíněn antihelionovým zdrojem. Toroidální zdroje jsou obvykle významné jen v oboru teleskopických meteorů. Bohužel prací, zabývajících se populačními indexy jednotlivých zdrojů a jejich změnami během roku, je dosud žalostně málo a neposkytují zatím



Obr. 17.: Kvalitativní schema kolísání vydatnosti jednotlivých zdrojů sporadických meteorů. Jižní toroidální zdroj není opět do obrázku zahrnut. U křivky pro severní toroidální zdroj jsou navíc vyznačena období, v nichž se jeho poloha odchyluje k severu (*N*) a k jihu (*S*) od střední polohy. Soubory materiálů, dle nichž byly křivky sestaveny, odpovídají zhruba slabým vizuálním meteorům.

konsistentní obraz. Dost známým důsledkem zmíněných rozdílů v hodnotách populačního indexu je výrazný růst počtu jasných vizuálních meteorů v ranních hodinách z jedné strany a naopak málo výrazná denní variace u teleskopických meteorů.

Pro úplnost je ještě třeba poznamenat, že modely distribucí radiantů sporadických meteorů a vlastností jejich zdrojů lze získat i ze statistického zpracování jejich frekvencí, distribučních funkcí jasností a směrů přeletu. Tyto metody však vyžadují získání obrovského pozorovacího materiálu a jeho velmi složité vyhodnocení. V amatérských podmínkách jsou proto skoro nepoužitelné.

## 5 Sledování meteorů amatérskými prostředky

Z předešlého textu je zřejmé, že meteory jsou jevy svým způsobem neopakovatelné a přitom zachytitelné poměrně snadno. Mohou tedy být celkem úspěšně

sledovány i amatéry. Vzhledem k možnostem jejich vybavení lze amatérsky sledovat meteory buď vizuálně (tento název, i když vžitý, je poněkud nepřesný, do této skupiny by vlastně mělo patřit i teleskopické pozorování, které používá téhož receptoru jako pozorování bez dalekohledu - lidského oka), nebo teleskopicky (pomocí binokulárních dalekohledů), nebo fotograficky. Trochu stranou stojí pokusy o sledování meteorů „pasivní radiolokací“, pomocí změn příjmu vzdálených VKV stanic, jejichž interpetace bývá často velice obtížná.

Tento návod je zaměřen na vizuální pozorování v obvyklém užším smyslu tohoto pojmu, tedy na pozorování bez dalekohledu. Vychází z „Návodu na pozorování meteorů“ připravovaného IMO, který se má v nejbližší době stát mezinárodním standardem a na jehož sepsání se autor této zkrácené české verze podílel.

Při přípravě pozorování je nutné vzít v úvahu jednak možnosti lidského oka a poměrně malou přesnost napozorovaných dat, jednak z druhé strany možnost získání poměrně rozsáhlého pozorovacího materiálu. Pozorování si tedy musí klást takové cíle, u nichž není nižší přesnost a spolehlivost vstupních údajů příliš na závalu a které naopak vyžadují ke svému dosažení poměrně velký objem dat. K takovým problémům patří otázka aktivity meteorických rojů a jejich změn; mezinárodní spoluprací lze získat kontinuální řady pozorování. Protože je podobná pozorovací metodika (buď v trochu jednodušších modifikacích) používána asi od poloviny minulého století, je možné provádět i dlouhodobá porovnávání. Toto je také důvod, proč se tento program, s nímž vás chceme seznámit, stal nosným programem IMO. Pozorování osamocенého amatéra nebo skupiny už skutečně nemá v dnešní době šanci (snad s výjimkou speciálních, velmi dobře připravených projektů, vesměs velice pracných), získaná data (obvykle poměrně malá) totiž buď neposkytnou spolehlivou odpověď na původně formulované otázky, nebo je snadnější tuto odpověď hledat jinými, profesionálnějšími prostředky.

## 5.1 Sledování meteorických rojů

Při sledování meteorického roje jde v podstatě o určení dvou číselných hodnot: frekvence roje, čili počtu meteorů za stanovenou časovou jednotku (obvykle hodinu) a populačního indexu, který udává, kolikrát roste počet meteorů při přechodu k meteorům slabším o jednu magnitudu. Z těchto hodnot lze už pak spočítat třeba prostorovou hustotu částic roje, jeho hmotnost a další potřebné charakteristiky. Je jasné, že zmíněné údaje tak, jak je zjistíme z pozorování, jsou ovlivněny pozorovacími podmínkami, individuální vnímavostí pozorovatele, polohou radiantu na obloze a podobně. Navíc nejsou stále během času a populační index závisí i na střední jasnosti pozorovaných meteorů (obvykle je

pro slabší rojové meteory nižší, než pro jasné). Tyto časové změny jsou ovšem cenným vodítkem při úvahách a výpočtech týkajících se struktury roje a jeho vývoje. Po pozorování tedy chceme, aby nám poskytlo časový průběh frekvencí roje a jeho populačního indexu, ostatní faktory ovlivňující pozorované frekvence a počty meteorů různých jasností proto musíme co nejlépe eliminovat. Aby to bylo možné, je zapotřebí během pozorování dodržovat určitou metodu a zaznamenávat nejen meteory, ale i všechny okolnosti, které mohou při následných korekcích hrát určitou roli.

V zásadě platí, že dnes nejrozšířenější metody zpracování předpokládají *individuální pozorování jednotlivých pozorovatelů*. U nás nejrozšířenější pozorování ve skupinách je ze světového hlediska spíš zvláštnost vzniklá v minulosti používáním metody mnohonásobného počítání. Pokud tedy pozoruje několik pozorovatelů ve skupině, *nesmějí se vzájemně ovlivňovat*, každý musí mít spatřené meteory zaznamenány samostatně, pozorovatel by neměl mít informace o tom, jak spatřené meteory (a zda vůbec) viděli ostatní pozorovatelé. Proto si v zahraničí zapisuje „své“ meteory obvykle každý sám. Z druhé strany však může být důležité, zvláště když pozorují též začátečníci, mít možnost vzájemné kontroly údajů jednotlivých pozorovatelů. Proto asi nepůjde skupinová pozorování zcela odbourat, i když si mohou pozorovatelé zaznamenávat své údaje sami a výběr společných meteorů a jejich porovnání se bude provádět dodatečně. Velké domlouvání, u nás při skupinovém pozorování běžné, snižuje kvalitu dat.

Při pozorování meteorických rojů jsou v zásadě dvě možnosti: pozorujeme buď bez zakreslování jednotlivých meteorů, nebo meteory kreslíme (kreslení vybraných meteorů spojuje pouze nevýhody obou metod a nelze jej při těchto programech doporučit). Nevýhodou zakreslování je sice zvýšení „časových ztrát“, zakresly však s sebou nesou značný informační obsah (nemluvě už o možnosti dodatečného zjištění aktivity dosud neznámého roje). Proto je dnes doporučováno pozorovat obvykle se zakreslováním, pouze při vyšších frekvencích v okolí maxima silnějších rojů (při frekvenci nad 20 meteorů za hodinu) nezakreslovat. Při pozorování slabších meteorických rojů totiž může být rozhodnutí, zda meteor k roji patřil, nebo ne, dost problematické; i u poměrně zkušených pozorovatelů se v této rubrice objevuje dost chyb. Tyto chyby sice podstatněji nezkreslí výsledky při pozorování silného roje, u slabých rojů však mohou být faktorem znemožňujícím nejen spolehlivé určení frekvencí, ale i zjištění toho, zda se roj vůbec projevil.

## 5.2 Pozorovací pomůcky a vybavení

Nemá smysl se na tomto místě zabývat detaily oblečení, každý snad ví, že i v létě může být v noci citelné chladno; zvláště když se pozorovatel při pozorování delší dobu moc nepohybuje. Optimální je, aby v průběhu pozorování cítil pocit jakési „svěžesti“, přílišné teplo nebo chlad výrazně zhoršují vnímavost. Také poloha těla během pozorování má být poměrně pohodlná, ale zase ne příliš (potom pozorovatel spí). Pro běžné vizuální pozorování je zřejmě nejvhodnější skládací zahradní lehátko; plochá, tak zvaná „spartakiádní“ lehátka se nehodí – pozorovatel pak při zakreslování spíš cvičí leh-sed než pozoruje. Kvůli velkému záklonu hlavy nejsou vhodné ani běžné židle. Nejvhodnější výška sledovaného pole nad obzorem je totiž  $50^\circ$ –  $60^\circ$  a pouhým předkloněním hlavy by měl pozorovatel snadno vidět na „pracovní plochu“ (papír, mapku).

Důležitou pomůckou jsou **hodinky**. Běžné pozorování sice neklade velké požadavky na přesnost určování časů, ale důležité je, aby bylo možné čas dobře a spolehlivě odečítat při slabém světle; lépe se osvědčily digitální hodinky, ale i obyčejné s dobře viditelnými ručičkami jdou velmi dobře použít (moderní typ s „ručičkami“ na kapalných krystalech jen spojuje jejich nevýhody).

Další základní pomůckou je **baterka**. Musí se snadno a pohodlně držet (potřebujeme totiž pravítko, tužku a baterku, máme ale jen dvě ruce). Musí mít tlumené světlo, aby nenarušovala adaptaci na tmu. Obvykle se doporučuje červený filtr, protože na červené světlo jsou tyčinky v oku méně citlivé. U nás se často používá levných zařízení ze svítících červených diod. Otázka je ale otevřená, protože existují náznaky toho, že se při tomto světle mění křivka spektrální citlivosti lidského oka.

Potřebná je pevná **podložka**; při pozorování bez kreslení může stačit formát A4, pokud zakreslujeme A3. Nejvhodnější jsou „kreslířské“ podložky s růžky, pod které lze zasunout papíry (a zabránit tak jejich létání ve větru) a které mají odklápěcí přebal, jímž můžeme alespoň zčásti chránit papíry a mapky před noční vlhkostí (mít mapku mokrou, až z ní kape, není při kreslení žádný med).

Na psaní používáme nejlépe obyčejnou tužku, raději měkčí (asi tak HB - 2B), ne však příliš měkkou, která se maže. Kreslení tvrdými tužkami je sice možné (vypadá hezky), vyžaduje však zkušenost. Doporučuje se mít i rezervní tužku pro případ ztráty, nebo zlomení tuhy.

Velmi dobré zkušenosti jsou i s magnetofonovým záznamem, je ale zapotřebí si na tuto metodu zvyknout, a navíc potom příslušné údaje přepsat; nejlépe hned další den, pokud máme průběh pozorování v čerstvé paměti a případné nejasnosti jdou snadno odstranit.

Na zakreslování meteorů je bezpodmínečně zapotřebí mít **pravítko**, nej-

raději průhledné. Mnoho pozorovatelů si pravítka a tužky přivazuje, což je praktické, protože jejich stálé lovení na zemi rozhodně není nic příjemného.

**Mapky** potřebujeme především pro zakreslování, ale i při pozorování bez kreslení mohou být užitečné pro určení mezní hvězdné velikosti a pro identifikaci rojových meteorů (pokud si do nich vkreslíme místa, kde mají roje radianty). Při zakreslování je bezpodmínečně zapotřebí používat pouze gnomonických map; jedině na nich jsou meteory zobrazeny jako úsečky. IMO sice připouští používání několika typů starších atlasů (u nás nedostupných), novým *mezinárodním standardem* je ale **Gnomonický atlas Brno 2000.0**, který lze objednat na adrese:

*Hvězdárna a planetárium MK, Kraví hora, 616 00 Brno.*

Cena tohoto atlasu (u nás je k dispozici jen viditelná část oblohy na 9 mapách) je asi 15 Kč + obal a poštovné. V připojené tabulce rojů jsou uvedeny polohy jejich radiantů z katalogu IMO pro některá data, a to jak ve sférických souřadnicích, tak také v mm na příslušných mapách tohoto atlasu.

Důležitý je i výběr vhodného **pozorovacího místa**, které má být pokud možno mimo město, chráněné před světly, ale s volným výhledem (v pozorovaném směru by neměly terénní překážky sahat výš než  $10^\circ$  nad obzor), aby do sledovaného pole „netrčely“ stromy nebo stavby. Důležitá je dobrá viditelnost; zkušenost ukázala, že i poměrně pustá zemědělská krajina může být v důsledku zvíření prachu v průběhu polních prací „katastrofickým“ sousedstvím. Je však jasné, že při pozorování v průběhu roku nebude vždy možné tato pravidla plně dodržet, daleké „výjezdy“ jsou časovým i finančním luxusem.

### 5.3 Okolnosti pozorování

Pro korekci pozorování jsou významné hlavně dvě veličiny charakterizující pozorovací podmínky. Jsou to především **mezní hvězdná velikost (mhv)** a **oblačnost**. Nezapomeneme je *nikdy zapsat* na začátku a na konci pozorovacího intervalu a dále pak při *každé jejich změně*. Tedy nejen tehdy, když se oblačnost objeví (to je obvykle zapsáno), ale i když se zmenší, nebo zmizí (na toto se často zapomíná). Velice častou a hrubou chybou je sice správné určení procenta oblačnosti – ale poté se pozorovatel otočí tak, aby mu oblačnost co nejméně vadila.

Oblačnost je zásadně hlášena v oblasti, kterou pozorovatel skutečně sleduje; tato oblast v níž leží naprostá většina spatřených meteorů, má podobu elipsy s poloosami  $40^\circ$  na výšku a  $50^\circ$  v šířce. Údaj oblačnosti má udávat velikost zakryté oblasti z tohoto pole v procentech.

Mezní hvězdná velikost jde určovat více způsoby, které si bohužel nejsou ekvivalentní a hodnoty jimi získané se mohou lišit i o 1 mag. U nás se nejčastěji

pole	okrajove hvězdy
1	chi-zeta-delta-xi Dra
2	beta-delta-zeta Per
3	23-theta-beta UMa
4	alpha-epsilon-beta Gem
5	zeta-gamma-delta Aql
6	alpha And, gamma-alpha Peg
7	alpha-beta-delta Cep
8	alpha-beta-zeta Tau
9	alpha-beta-gamma-delta Leo
10	alpha-zeta-gamma Vir
11	alpha CrB, gamma-alpha Boo
12	alpha Ser, beta Lib, delta Oph
13	beta-zeta Lyr, theta-ni Her
14	epsilon-eta-gamma Cyg
15	beta Dra, tau-pi Her
16	alpha CVn, epsilon-eta UMa
17	epsilon-theta-delta Aur
18	mi-gamma-fi And
19	kappa-alpha Dra, beta UMi
20	42-beta-gamma Cam

1 N mhv	2 N mhv	3 N mhv	4 N mhv	5 N mhv	6 N mhv	7 N mhv
2 3.2	2 2.9	1 2.4	1 1.2	1 2.8	1 2.1	1 2.6
3 3.7	3 3.1	2 3.3	2 2.4	2 3.0	2 2.6	2 3.3
4 3.9	4 3.9	3 3.7	3 3.2	3 3.4	3 2.9	3 4.0
5 4.2	6 5.0	4 3.9	4 3.9	4 4.6	4 4.7	4 4.5
6 4.9	7 5.1	5 4.5	5 4.3	5 5.1	5 5.2	5 4.6
8 5.0	8 5.4	6 4.6	6 5.0	6 5.2	6 5.4	7 4.9
9 5.2	10 5.6	7 4.8	7 5.1	7 5.4	7 5.7	8 5.2
10 5.3	11 5.7	8 5.2	8 5.3	8 6.0	8 5.9	10 5.4
11 6.0	12 5.8	9 5.4	9 5.6	10 6.2	9 6.2	12 5.5
12 6.1	13 6.0	11 5.7	10 5.7	11 6.4	12 6.3	13 5.9
15 6.3	14 6.1	13 5.8	11 5.9	12 6.5	14 6.4	14 6.0
16 6.4	15 6.2	14 6.0	12 6.1	13 6.6	17 6.5	15 6.1
17 6.5	17 6.3	15 6.1	13 6.2	19 6.9	20 6.6	17 6.2
18 6.6	20 6.4	16 6.2	14 6.3	22 7.0	25 6.7	18 6.3
20 6.7	23 6.6	17 6.3	15 6.4	24 7.1	29 6.8	20 6.4
23 6.8	26 6.7	18 6.4	16 6.5	25 7.2	30 6.9	22 6.5
28 6.9	27 6.8	19 6.5	18 6.6	26 7.3	33 7.0	23 6.8
34 7.0	29 6.9	20 6.6	20 6.7	27 7.4	35 7.1	26 6.9
41 7.1	31 7.0	23 6.7	22 6.9		40 7.2	33 7.0
46 7.2	35 7.1	25 6.8	23 7.0		43 7.3	41 7.1
55 7.3	42 7.2	27 6.9	25 7.2		46 7.4	48 7.2
60 7.4	44 7.3	29 7.0	26 7.3		49 7.5	49 7.3
73 7.5	54 7.4	33 7.1	30 7.5			57 7.4
	59 7.5	37 7.2				65 7.5
		44 7.3				
		49 7.4				
		54 7.5				

Tab. 5a.: Standardní pole pro počítání hvězd k odhadu mezní hvězdné velikosti; převody napočítaných počtů na mhv.

8 N mhv	9 N mhv	10 N mhv	11 N mhv	12 N mhv	13 N mhv	14 N mhv
1 1.1	1 1.3	1 1.2	1 0.2	2 2.7	1 3.9	1 2.3
2 1.8	2 2.2	2 2.9	2 2.3	3 3.0	2 4.0	2 2.6
3 3.0	4 2.6	3 3.4	3 2.7	4 3.6	4 4.3	3 4.0
4 4.7	5 3.4	4 4.5	4 3.0	5 3.7	5 4.5	4 4.8
5 4.8	6 3.8	5 5.8	5 3.8	6 5.2	6 5.0	6 4.9
7 5.1	7 4.4	7 5.9	6 4.5	7 5.3	7 5.5	7 5.0
8 5.3	8 5.0	8 6.0	7 4.7	9 5.4	8 5.7	8 5.2
9 5.5	11 5.6	11 6.1	9 4.9	11 5.6	12 5.9	11 5.5
10 5.9	13 5.7	12 6.4	10 5.0	13 5.8	13 6.0	12 5.7
11 6.0	15 6.0	15 6.5	11 5.3	14 6.4	15 6.1	13 5.9
12 6.1	18 6.1	16 6.7	13 5.7	17 6.5	16 6.2	14 6.0
15 6.2	20 6.3	17 6.8	14 5.8	19 6.7	17 6.3	15 6.1
16 6.3	21 6.4	19 7.0	17 5.9	20 6.8	18 6.5	16 6.2
17 6.4	24 6.6	22 7.1	19 6.0	22 6.9	20 6.8	18 6.3
20 6.5	25 6.7	23 7.2	21 6.1	23 7.0	23 6.9	20 6.4
21 6.6	29 6.9	25 7.3	23 6.2	24 7.1	27 7.0	24 6.5
23 6.7	32 7.0	26 7.4	25 6.3	30 7.2	32 7.1	28 6.6
26 6.8	34 7.1	31 7.5	27 6.4		36 7.2	32 6.7
28 6.9	38 7.2		30 6.5		42 7.3	34 6.8
29 7.0	40 7.3		32 6.6		43 7.4	36 6.9
31 7.4	44 7.4		36 6.7		52 7.5	41 7.0
32 7.5	45 7.5		39 6.8			46 7.1
			45 6.9			49 7.2
			52 7.0			54 7.3
			55 7.1			61 7.4
			60 7.2			65 7.5
			69 7.3			
			73 7.4			
			86 7.5			

15 N mhv	16 N mhv	17 N mhv	18 N mhv	19 N mhv	20 N mhv
1 3.0	1 1.7	1 0.2	1 2.3	1 2.2	1 4.2
2 3.4	2 1.9	2 2.1	2 3.9	2 3.6	2 4.4
3 3.9	3 2.9	3 2.7	3 4.2	3 3.9	4 4.7
4 4.9	4 4.6	4 3.5	4 4.3	4 5.2	5 5.0
5 5.1	5 5.1	5 3.9	6 5.0	5 5.4	6 5.4
6 5.5	6 5.7	6 4.2	7 5.1	6 5.7	7 5.7
8 5.8	7 5.9	8 4.6	9 5.2	8 6.1	9 5.8
10 6.0	9 6.0	9 5.1	10 5.5	11 6.4	10 5.9
12 6.1	11 6.2	10 5.5	11 5.7	12 6.6	13 6.0
18 6.3	13 6.3	11 5.9	12 5.9	14 6.7	15 6.1
21 6.4	14 6.4	12 6.0	13 6.1	15 6.8	16 6.2
22 6.6	17 6.6	14 6.1	14 6.3	16 7.0	18 6.3
26 6.7	19 6.8	16 6.2	17 6.4	17 7.1	23 6.4
32 6.9	22 6.9	17 6.3	18 6.5	18 7.2	28 6.6
33 7.0	24 7.0	20 6.4	24 6.6	21 7.3	33 6.7
35 7.1	26 7.1	26 6.5	27 6.7	28 7.4	37 6.8
38 7.2	27 7.2	30 6.6	31 6.9	32 7.5	45 6.9
48 7.3	28 7.3	35 6.7	33 7.0		50 7.0
54 7.4	33 7.4	37 6.8	37 7.2		56 7.1
61 7.5	36 7.5	41 6.9	41 7.3		60 7.2
		44 7.0	46 7.4		67 7.3
		50 7.1	52 7.5		74 7.4
		55 7.2			82 7.5
		60 7.3			
		68 7.4			
		81 7.5			

Tab. 5b.: Standardní pole pro počítání hvězd k odhadu mezní hvězdné velikosti; převody napočítaných počtů na mhv.

určuje přímo; vyhledáním nejslabší viditelné hvězdy ze škály hvězd známých jasností (což u pozorovatelů s menší znalostí oblohy vede ke stálému zdlouhavému hledání v mapách)<sup>9</sup>. IMO doporučuje zcela jinou metodu (dle zkušenosti autora velice praktickou) při níž není nutné přerušovat pozorování. Spočívá v tom, že pozorovatel spočítá počet hvězd, které vidí v oblasti oblohy vymezené několika jasnými hvězdami (včetně vymezujících hvězd a hvězd ve stranách obrazce – obvykle trojúhelníku nebo čtyřúhelníku). Standardních oblastí je celkem 30, z toho 20 pro pozorovatele v Evropě. Pozorovatel si vybere ten obrazec, který má poblíž středu pole zhruba stejně vysoko nad obzorem. V připojených tabulkách je seznam 20 vybraných polí a převod počtu hvězd v nich na m<sub>h</sub>v. Při použití této metody sice vznikají potíže za velmi špatné viditelnosti, ale pozorování při m<sub>h</sub>v horší než 5.0 mag jsou obvykle vyřazována (výjimkou je pozorování maxim velkých rojů za silného rušení Měsícem, ale za takových podmínek je jakýkoliv odhad m<sub>h</sub>v velmi obtížný a problematický vlivem efektu „prázdného zorného pole“; m<sub>h</sub>v bývá hlášena ještě horší, než ve skutečnosti je).

Oba zmíněné údaje jsou pro správnou korekci pozorování **velice důležité** a určuje je bezpodmínečně každý pozorovatel **sám**. Nedostatky v jejich záznamu vedou vždy k vyřazení příslušných pozorování ze zpracování. Chyba v odhadu m<sub>h</sub>v o 0.1 mag vede k chybě určení frekvencí asi 10%, chyba 0.5 mag ale už 40% – 90%! Při určování oblačnosti je vhodné poznamenat i její typ (souvislá clona, velmi potrhaná a podobně) i když dosud není tento údaj běžně užíván (dá se uvést do poznámek k pozorování).

Velice důležitý je **výběr oblasti oblohy**, v níž meteory sledujeme. O její průměrné výšce nad obzorem byla již zmínka, její směr volíme tak, aby byl střed pozorovaného pole asi 30° radiantu. Zcela zoufalá situace nastává, když máme radiant „za zády“; a to i tehdy, když zakreslujeme. Určení rojové příslušnosti meteoru se pak totiž příliš často podobá „házení mincí“. V praxi však bývá skoro vždy situace daleko složitější – snad nikdy není v činnosti jen jeden meteorický roj<sup>10</sup>. Sledovanou část oblohy je vhodné vybrat tak, aby meteory jednotlivých rojů byly dobře odlišitelné jak od sebe vzájemně, tak i od sporadického pozadí. Pomoci si lze asi nejlíp tak, že si do otáčivé mapky oblohy vkreslíme jednotlivé radianty a po nastavení na čas pozorování si dle poloh jednotlivých radiantů (někdy i dle cíle pozorování a toho, na které roje chceme víc zaměřit pozornost) vybereme vhodné pozorovací směry. Zaměřit pozornost přímo na radiant není dle zkušeností optimální – meteory roje jsou příliš krátké

<sup>9</sup> Často bývá u nás definována tak, že pozorovatel vidí hvězdu příslušné jasnosti přímým viděním při polovině pokusů.

<sup>10</sup> Počátkem srpna jsou mimo Perseid aktivní nejméně 4 radianty ve Vodnáři, radiant v Kasiopeji a snad 8 dalších pravděpodobných rojů s radianty od Malé Medvědice po Váhy. Během aktivity Orionid jsou to ještě  $\epsilon$  Geminidy a dvě větve roje Taurid.

a snadno je přehlédneme.

## 5.4 Určování rojové příslušnosti meteorů

Určování rojové příslušnosti je nejtěžší úlohou při vizuálním pozorování meteorů. Jen u silných rojů s vysokými frekvencemi není tento problém zcela kritický – ve velkém souboru rojových meteorů se chyby určení obvykle „ztratí“ a nemají zásadní vliv na zjištěné frekvence a populační index roje; ve většině případů je však určování rojové příslušnosti limitujícím faktorem přesnosti a spolehlivosti získaných výsledků. Pokud není pozorováno se zakreslováním, je dobrá znalost polohy radiantů nutnou, ale zdaleka ne postačující podmínkou.

Jaká další kriteria hrají při posuzování rojové příslušnosti meteoru roli? Pomineme-li kriteria statistického charakteru (například mohou mít rojové meteory podstatně odlišnou funkci závislosti počtu meteorů na jasnosti ve srovnání se sporadickými), jsou významnými kritérii zdánlivá rychlost meteoru a jeho délka. Zhruba řečeno: meteory blízko radiantu budou pomalé a krátké. Ve skutečnosti ale pozorovaná rychlost závisí také na geocentrické rychlosti těles a výšce meteoru nad obzorem (meteory nízko nad obzorem jsou daleko a proto pomalejší). Závislost mezi pozorovanou délkou meteoru a jeho vzdáleností od radiantu je ještě daleko složitější; pozorovaná délka závisí na mnoha faktorech, například na hmotnosti tělesa (jasnější meteory jsou delší, pronikají hlouběji do atmosféry), dále pak na úhlu, pod kterým těleso do atmosféry vlétá, na rychlosti tělesa i na jeho složení. K těmto a dalším faktorům ovlivňujícím skutečnou délku prolétnuté dráhy přistupuje vliv projekce této dráhy na oblohu. Mimořádná délka světelné dráhy meteoru (desítky stupňů; někdy i přes  $90^\circ$ ) vesměs znamená, že musel mít radiant velmi nízko nad obzorem. Kritické posouzení všech těchto faktorů vyžaduje velice značnou pozorovací zkušenost a i tak je riziko chyby dost velké. Experimentální pozorování prokázala, že i poměrně zkušený pozorovatelé se mýlí při určování rojové příslušnosti ke slabým rojům častěji, než ve 20% případů. Lepší výsledky dává posouzení rojové příslušnosti dodatečně, dle zákresů meteorů a hlášení jejich rychlosti.

Jako určité vodítko mohou sloužit připojené tabulky; v tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty úhlové rychlosti ( $^\circ/s$ ) v závislosti na výšce meteoru nad obzorem  $HM$  a vzdálenosti od radiantu  $DS$  (oboje ve  $^\circ$ ) pro několik hodnot geocentrické rychlosti roje  $VG$  (km/s). Pro velké vzdálenosti meteoru od radiantu se zdánlivá rychlost opět zmenšuje, a je přibližně stejná jako rychlost ve vzdálenosti od radiantu  $180^\circ - DS$ . V tabulce 7 je obsažena (pouze v orientačních hodnotách) závislost délky meteoru (ve  $^\circ$ ) na výšce radiantu nad obzorem  $HR$  (ve  $^\circ$ ), dále pak na  $HM$  a na  $DS$  (v tomto případě vzdálenost počátku meteoru od radiantu). Údaje jsou spočteny pro meteor asi 3 mag s rychlostí asi 40 km/s;

DS	10	30	50	80	10	30	50	80
HM	VG = 15				VG = 30			
10	0.4	1.1	1.7	2.2	0.7	2.0	3.0	3.9
30	1.0	2.8	4.2	5.5	1.7	4.9	7.5	9.6
50	1.5	4.2	6.4	8.3	2.6	7.4	11.3	14.5
80	1.9	5.4	8.2	10.6	3.3	9.4	14.4	18.6
HM	VG = 45				VG = 70			
10	1.0	2.8	4.2	5.4	1.4	4.0	6.1	7.8
30	2.3	6.8	10.4	13.3	3.3	9.6	14.7	18.9
50	3.5	10.2	15.6	20.1	5.0	14.4	22.1	28.4
80	4.5	13.0	20.0	25.7	6.4	18.5	28.3	36.3

Tab. 6.: Závislost úhlové rychlosti meteoru na geocentrické rychlosti  $VG$ , výšce meteoru nad obzorem  $HM$  a jeho vzdálenosti od radiantu  $DS$ .

DS	10	30	50	80	10	30	50	80
HM	HR = 10				HR = 30			
10	2.3	6.4	9.3	10.8		3.5	5.2	6.3
30		14.3	19.3	20.3	2.6	7.2	10.4	12.0
50			26.5	26.1		10.0	14.1	15.6
80				29.9			16.6	18.0
HM	HR = 50				HR = 80			
10			4.2	5.1				4.5
30		5.6	8.2	9.7			7.2	8.5
50	2.8	7.7	11.0	12.6		6.6	9.5	
80		9.2	13.0		2.8			

Tab. 7.: Závislost délky meteoru ve stupních na výšce meteoru  $HM$  a výšce radiantu  $HR$  nad obzorem a na vzdálenosti meteoru od radiantu  $DS$ .

vliv rozdílů v rychlostech není velký, oproti tomu je vliv hmotnosti (a tím i jasnosti meteorů) na délku dost podstatný; v průměru lze zhruba říci, že meteory o jasnosti 0 mag budou asi dvakrát delší, meteory 5 mag asi poloviční. Tabulka je spočtena s ohledem na to, že meteory pozorované u obzoru jsou v důsledku velké vzdálenosti od nás ve skutečnosti mnohem jasnější, než je pozorujeme.

O tom, jak standardně postupovat u zakreslených meteorů, bude víc v odřídě o předběžném vyhodnocení dat.

## 5.5 Údaje zaznamenané u jednotlivých meteorů

Při pozorování za obvyklých podmínek určujeme:

*Čas přeletu v hodinách, minutách a sekundách*; uvádění sekund není povinné (stává se však, že pro další využití získaných dat sekundy chybí). Nezapomeňte poznamenat, v jakém čase je čas počítán (UT, SEČ, LSEČ); údaje pro odeslání do databází musí být v UT. Při velmi vysokých frekvencích není nutné individuální časy přeletů určovat; více o tom v odstavci „Co dělat při vysokých frekvencích“.

*Rojová příslušnost* meteoru, během pozorování se zapisuje jen pokud nejsou meteory zakresleny.

*Maximální jasnost* meteoru je uváděna vždy na 0.5 mag. Často se vyskytující chybou je zaokrouhlování jasností na celé hodnoty. Určujeme ji vždy porovnáním se srovnávacími hvězdami v pozorované oblasti ležícími v přibližně stejné výšce nad obzorem.

*Výskyt stopy* u meteoru. Údaj není v současných databázích ukládán, ve statistikách vlastností meteorických rojů je však dost často uváděn. Obvykle je určováno trvání stopy v sekundách; její přítomnost je zaznamenána trváním 1 s (i když stopa trvá mnohem méně). Zvýšenou pozornost je třeba věnovat dlouhotrvajícím stopám vyskytujícím se obvykle u bolidů<sup>11</sup>. Je třeba dát pozor na přeceňování trvání stop – sekunda je totiž dost dlouhá doba.

*Barva meteoru* je údajem často zaznamenávaným (i statisticky zpracovávaným), ale velmi subjektivním a nespolehlivým. Většina meteorů je zjevně žlutých až oranžových, modrou či zelenou barvu mají obvykle jen velmi jasné bolidy. Soudím, že jí není třeba věnovat velkou pozornost.

**Důležitým údajem**, hlavně při sledování slabých rojů spojeném se zakreslováním, je *rychlost* meteoru. Je důležitým kritériem při určování rojové příslušnosti, i když je její určování obtížné a (hlavně u začátečníků) zatížené velkými chybami. Nejlepší způsob udávání rychlosti je přímo ve stupních za sekundu. Při odhadu si lze pomoci „rekapitulací“ – ukážeme si na obloze, jak meteor letěl, a odhadneme, o kolik stupňů jsme přitom za sekundu pohnuli rukou. Může pomoci jednoduchý „úhломěr“ ze dvou spojených pravítek; první přikládáme do blízkosti oka, druhé je připevněno kolmo k němu na opačném konci a jsou do něj natlučeny vyčnívající hřebíčky, třeba po 5°. Jinou možností je porovnání se známými úhlovými vzdálenostmi hvězd (příklady vzdáleností jsou v připojené tabulce 8). Tyto pomůcky se uplatní i při odhadu délky meteoru. Druhou možností, dosud užívanou častěji, ale *nesporně horší*, je odhad

<sup>11</sup>U nás je v posledních letech zaváděn zápis trvání stopy v logaritmické škále odvozené z jejího trvání v desetínách sekundy. Je definováno jako celá část dvojkového logaritmu trvání v 0.1 s. Stopy kratší než 0.2 s nelze totiž postřehnout, kratší než 0.4 s pak mají kód 1, do 0.8 s 2, do 1.6 s 3, ... do 12.8 s mají kód 6 a podobně. Výhodou této stupnice je podobnost se způsobem, jímž bývá uváděno trvání radarových odrazů; u dlouhotrvajících stop které mizí pomalu a okamžik jejich „konce“ je značně nespolehlivý, není nižší přesnost takto udaného trvání na závadu.

Dvojice		L	Dvojice		L	Dvojice		L
del Oph	eps Oph	1.4	zet Ori	alf Ori	10.0	alf Aql	eps Peg	28.0
eps Ori	zet Ori	1.4	alf Boo	eps Boo	10.4	gam Cas	alf Umi	28.6
alf Cas	eta Cas	1.7	eps Peg	alf Aqr	11.5	alf Umi	alf UMa	28.7
lam UMa	mi UMa	1.7	bet Sco	zet Oph	12.0	alf Oph	alf Lyr	29.6
bet Lyr	gam Lyr	2.0	gam And	bet Per	12.1	alf Cmi	alf Hya	30.4
zet Cep	del Cep	2.4	zet Aql	alf Aql	12.2	alf Tau	alf Aur	30.7
bet UMi	gam UMi	3.2	bet And	gam And	12.5	alf Vir	alf Boo	32.8
bet Eri	bet Ori	3.5	bet Her	alf Her	12.7	alf Oph	alf Aql	33.5
gam Crv	del Crv	3.5	gam Leo	del Leo	12.7	alf Aur	bet Gem	34.2
gam Cas	del Cas	3.6	bet Peg	alf Peg	12.9	alf Lyr	alf Aql	34.2
bet Ari	alf Ari	3.9	eta Tau	alf Tau	13.7	bet Leo	alf Boo	35.3
bet Dra	gam Dra	4.1	alf CVn	eta UMa	14.4	alf Per	alf Tau	36.4
eps UMa	zet UMa	4.4	alf Lyr	bet Cyg	15.6	alf Cmi	alf Leo	37.4
alf Gem	bet Gem	4.5	alf Tau	gam Ori	15.8	alf Aql	alf Cyg	38.0
gam Cet	alf Cet	4.8	gam And	alf Per	15.8	bet Sco	alf Oph	39.1
bet Cas	alf Cas	4.9	alf Umi	bet UMi	16.6	alf Umi	alf Per	39.4
eta Boo	alf Boo	5.0	bet Lib	alf Ser	17.2	alf Aur	alf Ori	39.5
alf Her	alf Oph	5.3	alf Aur	bet Tau	17.5	gam Cas	alf Cyg	39.5
bet UMa	alf UMa	5.4	alf Cyg	alf Cep	18.1	alf Tau	alf CMa	46.0
bet CMa	alf CMa	5.5	bet Ori	alf Ori	18.6	alf CMa	bet Gem	47.1
alf Lyr	bet Lyr	6.0	alf Ser	bet Her	18.7	alf Aur	alf UMa	49.3
gam Cyg	alf Cyg	6.1	alf Per	alf Aur	19.1	alf Lyr	eps Peg	50.7
alf Tri	bet Tri	6.4	gam Gem	bet Gem	19.5	alf Per	alf Ori	52.8
eps Leo	zet Leo	7.1	alf Boo	alf CrB	19.7	alf Leo	alf Vir	54.1
zet Peg	alf Peg	7.2	eps Peg	alf Peg	20.4	bet Ori	alf Aur	54.2
eps Oph	zet Oph	7.5	alf Tau	alf Ori	21.4	alf CMa	alf Leo	57.8
alf Aur	bet Aur	7.6	alf Cmi	bet Gem	22.8	alf Hya	alf Vir	58.5
bet Tau	zet Tau	7.9	alf Hya	alf Leo	23.0	gam Cas	alf Lyr	59.1
bet UMa	gam UMa	7.9	gam Cas	alf Per	23.2	alf Leo	alf Boo	59.7
alf Cep	bet Cep	8.0	bet Ori	alf CMa	23.7	alf Aur	alf CMa	65.8
alf Oph	bet Oph	8.3	alf Lyr	alf Cyg	23.8	alf Aur	alf Leo	69.6
alf Leo	gam Leo	8.4	alf Leo	bet Leo	24.6	alf Aur	alf Cyg	78.2
alf Lib	bet Lib	9.2	alf CMa	alf Cmi	25.7	alf Boo	alf Cyg	80.9
bet Per	alf Per	9.3	alf Tau	bet Ori	26.5	alf Cmi	alf Vir	87.6
bet Cet	eta Cet	9.9	alf And	alf Ari	27.1	alf Vir	alf Lyr	87.8

Tab. 8.: Úhlové vzdálenosti vybraných dvojic hvězd.

rychlosti v individuální arbitrární škále. U nás se užívá škála 0 pro stacionární meteor, 1 pro velmi pomalý, až 5 pro velmi rychlý. V databázi je zavedeno (aby nedošlo k záměně s rychlostí ve stupních) kódování písmeny: A velmi pomalý, B pomalý, C středně rychlý, D rychlý a E velmi rychlý meteor.

*Délka a poloha* meteoru se zaznamenávají, jen pokud nejsou meteory zakreslovány, a i v tom případě nebývají tyto údaje využity (při Perseidách 1993 jsme ale velmi litovali toho, že tyto údaje nemáme). Délka meteoru se udává ve stupních a jeho poloha obvykle pomocí hvězd, u nichž meteor začal a skončil (což ovšem vyžaduje vynikající znalost oblohy).

Posledním údajem je *ocenění*. Při statistickém pozorování není užíváno, při zakreslování je jím oceňována přesnost zákresu a je proto velice důležité. Pozor! Ve světové databázi se používá pouze hodnot 1 – 3, a to v obráceném smyslu než u nás! Tedy 1 značí velmi přesně zakreslený meteor, 2 běžnou přesnost a 3 nejistý zákres (meteor méně dobře postřehnut, při zákresu vznikly problémy s opornými hvězdami – například jsou daleko od jeho dráhy – a podobně).

Pokud redukuje rozsah zaznamenaných údajů o jednotlivých meteorech, platí zásada, že redukovat můžeme ty údaje, které nevstupují do databáze, do níž budeme svá pozorování odesílat! Pokud chceme snížit zátěž pozorovatelů, prostudujeme si důkladně formu pro hlášení výsledků pozorování a zrušíme záznam nepovinných údajů. **Připomínám, že údaje o pozorovacích podmínkách jsou neredukovatelné.**

## 5.6 Zakreslování meteorů

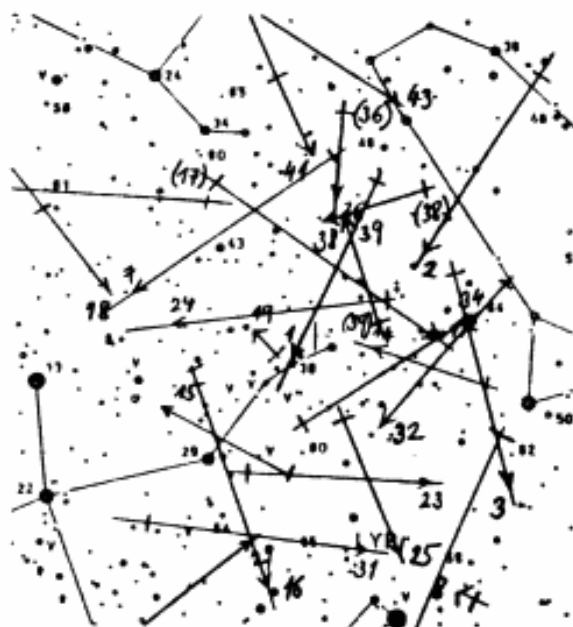
Meteory, jak již bylo řečeno, zakresluje pouze do map v gnomonické projekci. Zákresy děláme vždy dle hvězd, kolem kterých meteor proletěl. V nouzi si můžeme vypomoci hvězdou před začátkem nebo za koncem světelné dráhy (pokud není příliš daleko od meteoru). Interpolace polohy typu: „na třech pětinách vzdálenosti od hvězdy A k hvězdě B“ je dost problematická, pokud příslušné hvězdy nejsou blízko sebe, zvláště u okraje mapy. Délkové měřítko mapy je totiž silně zkresleno; v různých místech mapy je zkreslení různě velké, ale u okraje největší. Odhady typu: „svíral úhel 25° se spojnicí hvězd...“ jsou kvůli úhlovému zkreslení map zcela nepoužitelné kromě malé oblasti u jejich středu. Pokud nemůžeme postupovat korektněji mělo by být ocenění kvality zákresu za 3.

Kreslíme **vždy podle pravítka**, nejprve nakreslíme čáru – dráhu meteoru a na ní pak označíme začátek světelné dráhy *krátkou kolmou* úsečkou a její konec *šipkou* ve směru letu; příslušné body dráhy jsou označeny průsečíkem úsečky s drahou a hrotem šipky (musí ležet na dráze meteoru – obrázek 18). Takto zakreslený meteor musíme označit, aby bylo možné k němu zaznamenat další relevantní údaje. Základní možnosti jsou dvě: psát příslušné údaje přímo

k zákresu meteoru (ale již po malém počtu záznamů může vzniknout v mapě citelný zmatek), nebo k meteoru napíšeme pouze identifikační číslo, pod nímž je veden záznam o ostatních údajích (jasnosti, rychlosti, ocenění a podobně) jinde. Vhodnější je druhý způsob, zvláště když standardně píšeme tato čísla do těsné blízkosti šipek. Pravděpodobnost záměny s jiným zakresleným meteorem je potom malá. Pokud během zakreslování usoudíme, že by k takové záměně přece jen mohlo dojít, doplníme tam, kde je to potřebné, čísla i k začátku meteoru. Pro snadné odlišení je v tomto případě napíšeme do závorek nebo do kroužku (viz též obrázek 18)<sup>12</sup>

Otevřeným problémem zůstává otázka, zda má zakreslující pozorovatel používat při kreslení jedné, nebo více různých gnomonických map. I když má totiž střed sledované oblasti blízko středu gnomonické mapy, vidí některé meteory ležící mimo zobrazenou oblast, a proto je na příslušnou mapu nemůže zakreslit. Autor je toho názoru, že začátečníci by měli během pozorování raději používat jediné gnomonické mapy. Orientace na gnomonických mapách je totiž dost obtížná kvůli velkým zkreslením hvězdných obrazců; začátečník si proto musí na příslušnou mapu „zvyknout“ (aby nedocházelo ke zbytečným záměnám hvězd, dle nichž jsou meteory zakreslovány – tyto záměny jsou příčinou většiny hrubých chyb v zákresech), a to je snažší, když delší dobu zakresluje v jediném poli. Malý počet meteorů, které se mu „nevejdou“ do mapy, pouze zazname-

<sup>12</sup>Vyjímečně se vyskytující stacionární meteory označujeme na mapě značkou křížku v kroužku, k němuž napíšeme číslo. Průsečík čárek udává jeho polohu.



Obr. 18.: Zákresy meteorů – náhoda dovede udělat hlavolam. Je vidět, že psaní čísel u šipek je užitečnou konvencí. Kde by mohly přesto vzniknout problémy, pomůžeme si připsáním čísla v kroužku k počátku.

ná pro statistické vyhodnocení (jako by pozoroval bez zakreslování). Je nutné poznamenat, že tento přístup nemá nic společného se „selektivním“ zakreslováním vybraných meteorů (s pravděpodobnou příslušností k určitému roji, nebo naopak s „vynecháváním“ zákresů meteorů určitého roje); takto selektivně zakreslovat si mohou dovolit pouze velmi zkušené pozorovatele při zvláštních programech (studium slabého roje v období aktivity silných rojů).

## 5.7 Co dělat při vysokých frekvencích?

Každý meteorář si jistě přeje zažít takovou chvíli, kdy už skutečně nestačí zaznamenávat vše, co by zaznamenávat měl. Jde teď o to, jak má pokračovat v pozorování. Dle dřívějšího textu je zřejmé, že již nějakou dobu nezakresluje. Zbývá tedy jen jediná možnost, jak zkrátit čas věnovaný zápisům – postupně redukovat údaje až na ty nejdůležitější. Stále je nutné zaznamenávat rojovou příslušnost, ale je možné se omezit na zjištění příslušnosti k hlavnímu, vysoce aktivnímu roji, zápisem typu ano-ne. Při „zkratkovém“ zápisu je nutné zapsat pro pozdější vyhodnocení, co která značka či zkratka znamená (tohle pravidlo ovšem platí vždy, aby mohl později s napozorovanými materiály pracovat i nezasevěný se systémem použitých „šifer“). Dále je nutné zaznamenat jasnost. Zápis času přeletu je možné redukovat a psát čas třeba u každého desátého meteoru, nebo po pěti minutách. Obvyklé je ještě zaznamenávat stopy, což lze při vysokých frekvencích vypustit. Pozorovacím podmínkám **věnujeme pozornost stále**.

Pokud nastal skutečně „velký“ meteorický déšť, musíme v omezování zápisů dál pokračovat. Především si můžeme pomoci tím, že přestaneme věnovat pozornost meteorům, které nepatří sledovanému roji, což už obvykle až tak moc nepomůže. Zbývají dvě možnosti: pouhé počítání spatřených rojových meteorů, nebo sledování a zápis jen těch meteorů, které *začaly* ve vyhrazené oblasti oblohy (obvykle čtyřúhelníkem známých hvězd). Obě tyto cesty mají své výhody a nevýhody z hlediska následného zpracování. Pokud pozoruje více pozorovatelů, kteří se mohou domluvit, je vhodné, aby část z nich použila jedné a část druhé metody. Nikdy ovšem nezapomeneme udělat krátkou přestávku, které použijeme k zápisu toho, jak právě měníme metodu pozorování spolu s údajem o přesném čase. *Zásada, že pozorovatelé při pozorování ve skupině pozorují nezávisle na sobě, platí stále*. Je chybou (převzatou z dávných dob), když meteor zaznamená jen ten pozorovatel, který jej „viděl nejlíp“, nebo ten, v jehož „hájenství“ se nachází (kromě výše zmíněné metody úmyslného „zmenšení“ sledovaného pole). Teď už tedy jen zbývá přání, aby byly poučky z těchto řádků zapotřebí co nejčastěji.

## 6 Co s napozorovaným materiálem?

Napozorovat nějaké meteory a ráno strčit protokoly do šuplíku je jistě nejjednodušší řešení. Není to ale škoda? Pokud si myslíte, že ano, potom pozorováním práce nekončí, ale teprve začíná. Na několika stránkách je proto popsáno, co s pozorováními udělat, aby něčemu posloužila.

### 6.1 Vyhodnocení poloh zakreslených meteorů

K vyhodnocení získaných dat přistupujeme ve více postupných krocích. Především co *nejdříve* zkontrolujeme mapy, zda neobsahují prohřešky vůči výše uvedené „normě“, zda jsou zákresy úplné a dostatečně přehledné (dokud ještě máme průběh pozorování v paměti a je šance případné zmatky opravit). Pokud pozoruje skupina pozorovatelů, porovnáme vůči sobě zákresy společných meteorů, hlavně pokud v ní pozorovali i začátečníci. Zjistíme tak, jakých chyb se při zakreslování dopouštějí. Lze ovšem provést také porovnání kreslených a hlášených údajů; znamená to však některé údaje vztahující se k poloze a směru meteoru zaznamenat vhodným způsobem podstatně podrobněji. K porovnání lze použít programového vybavení pro PC, které máme k dispozici; tento postup je však dost pracný a vybočuje z rámce tohoto návodu.

Vyhodnocení poloh zakreslených meteorů můžeme provést dvěma způsoby: pokud nechceme zasílat soubory s polohami jednotlivých meteorů do světové databáze, provedeme grafické vyhodnocení příslušnosti jednotlivých meteorů k meteorickým rojům a doplníme tyto údaje k meteorům, které pak zpracujeme pro statistické hlášení (popis statistického hlášení z pozorování meteorických rojů bude v dalších částech návodu). To je ovšem trochu škoda, připravujeme se tím o značnou část informací, získaných pozorováními. Pokud se rozhodneme tato data zaslat, musíme především polohy meteorů z map oměřit. Vzhledem ke zkreslení map je prakticky nemožné oměřovat polohy ve sférických souřadnicích; vždy je proto oměřujeme v *pravouhlých souřadnicích* jednotlivých map. Počátek těchto souřadnic je v levém dolním rohu mapy, souřadnice  $x$  roste doprava a  $y$  směrem nahoru (jsou tedy vesměs kladné). Udáváme je v mm, případně na poloviny. Pro kontrolu měřítka jsou v mapách vyznačeny křížky, vesměs po 70 mm v obou souřadnicích (maximální hodnoty souřadnic dané rozměrem map jsou tedy 350, respektive 280).

### 6.2 Přepočítání poloh meteorů z map na sférické souřadnice

Označíme-li si oměřené souřadnice  $x, y$  a poloměr promítání  $R$  (v původním měřítku map  $R = 160.43$  mm), můžeme spočítat korigované souřadnice

vzhledem ke středu mapy  $x', y'$ :

$$\begin{aligned}x' &= \frac{x - x_s}{R} \\y' &= \frac{y - y_s}{R},\end{aligned}\tag{5}$$

kde  $x_s, y_s$  jsou pravoúhlé souřadnice středu mapy. Jednotkový vektor směru k přepočítávanému bodu má své složky  $X, Y, Z$  definovány vztahy:

$$\begin{aligned}t &= \sqrt{1 + x'^2 + y'^2} \\X &= -\frac{x'}{t} \\Y &= \frac{\cos d - y' * \sin d}{t} \\Z &= \frac{\sin d + y' * \cos d}{t}.\end{aligned}\tag{6}$$

Složky tohoto jednotkového vektoru pak souvisejí se sférickými souřadnicemi takto:

$$\begin{aligned}X &= \cos \delta \sin(\alpha - a) \\Y &= \cos \delta \cos(\alpha - a) \\Z &= \sin \delta\end{aligned}\tag{7}$$

kde  $a$  je rektascenze a  $d$  deklinace středu mapy a,  $\alpha$  je rektascenze a  $\delta$  deklinace objektu. Hodnoty  $a, d, x_s$  a  $y_s$  jsou uvedeny pro jednotlivé mapy v připojené tabulce 9.

Protože je tento výpočet dosti pracný i s použitím kalkulátorů, existuje program na PC, jehož výstup poskytuje souřadnice přímo ve tvaru jejich hlášení

Mapa	xs	ys	a	d
1	175	140	30.00	55.68
2	175	140	150.00	55.68
3	175	140	270.00	55.68
4	140	175	90.00	4.89
5	140	175	210.00	4.89
6	140	175	330.00	4.89
7	175	140	30.00	-4.89
8	175	140	150.00	-4.89
9	175	140	270.00	-4.89

Tab. 9.: Seznam poloh a dalších parametrů map Gnomonického atlasu Brno 2000.0.

do databáze. Vstupem tohoto programu jsou buď meteory ve tvaru vhodném pro umístění do databáze (s popsanou výjimkou), nebo data ve tvaru: číslo meteoru (nanejvýš 3 cifry), číslo mapy, souřadnice  $x$  a  $y$  počátku a souřadnice  $x$  a  $y$  konce (v mm). Jednotlivé údaje jsou v tomto případě od sebe odděleny mezerami.

### 6.3 Zenitová atrakce a denní aberace radiantů

Jak již bylo naznačeno v úvodních částech koresponduje se šesti elementy dráhy meteoru poloha Země v okamžiku setkání a směr a rychlost pohybu tělesa (tedy obecně vektor rychlosti). Situace ovšem není tak jednoduchá; vektor rychlosti tělesa se skládá s vektorem rychlosti Země. O tomto efektu je víc v částech věnovaných sporadickým meteorům; všeobecně je zavedeno, že udávané polohy radiantů se vztahují na vektor vzniklý tímto skládáním (proto se tímto efektem teď nemusíme zabývat).

Na pozorovaný směr letu meteoru a jeho rychlost má ale vliv i gravitační pole Země, v němž se meteory v prvním přiblížení pohybují po hyperbolách (protože přicházejí z meziplanetárního prostoru, je jejich rychlost vyšší než úniková). Pouze meteory, jejichž radiant leží v zenitu, přicházejí z původního směru (i když změněnou rychlostí). U ostatních meteorů je původní směr dán asymptotou hyperboly, po níž se těleso pohybuje. Změna směru letu se projeví tím, že se radiant meteoru posune směrem k zenitu a proto se tomuto jevu říká *zenitová atrakce*. Její velikost lze spočítat z výšky radiantu nad obzorem a rychlosti meteoru; zvláště pro pomalé meteory s malými výškami radiantu nad obzorem může posun dosáhnout značných hodnot.

Úplné odvození vztahu mezi rychlostí, výškou radiantu nad obzorem a zenitovou atrakcí není sice příliš složité, je ale pracné a zdlouhavé. Jeho výsledkem je Schiaparelliho vztah odvozený již v roce 1867:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{a'}{2}\right) = \operatorname{tg}\left(\frac{z'}{2}\right) * \frac{v_g - v_0}{v_g + v_0}. \quad (8)$$

v němž je  $a'$  posun radiantu,  $z'$  pozorovaná výška radiantu nad obzorem,  $v_g$  je pozorovaná geocentrická rychlost meteoru a  $v_0$  rychlost meteoru neovlivněná gravitací Země. Protože meteory jsou zhruba stejně vysoko, platí mezi hodnotami těchto rychlostí vztah:

$$v_g^2 = v_0^2 + 11.2^2, \quad (9)$$

v němž hodnota 11.2 km/s je úniková rychlost ze sféry zemské přitažlivosti. V tabulkách rychlostí meteorických rojů bývá obvykle udána přímo hodnota

$v_g$  (také v připojené tabulce rojů). Z předešlých vzorců lze odvodit inverzní vztah pro rozdíl skutečné a pozorované výšky radiantu nad obzorem:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{\frac{v_g}{(v_g+v_0)} * \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\left(\frac{z}{2}\right) * \frac{v_g^2-v_0^2}{v_g^2}} - 1\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{z}{2}\right)}. \quad (10)$$

Příklady velikosti korekcí při různých výškách nad obzorem a různých rychlostech meteorů jsou v tabulce 10.

Dalším efektem, který se v poloze radiantu projeví, je otáčení Země. Úsek dráhy (ovlivněný zenitovou atrakcí) je navíc pro pozemského pozorovatele „zešikmen“ rychlostí samotného pozorovatele, a protože se Země otáčí od západu k východu, je tím radiant meteoru posunut směrem k východnímu bodu. Tomuto jevu se říká *denní aberace*. Rychlost pohybu pozorovatele v našich zeměpisných šířkách je asi 0.3 km/s, posun tedy může u velmi pomalých rojů dosáhnout hodnot kolem 1°. Tato hodnota je pro běžnou práci se zákresy vizuálních meteorů prakticky bezvýznamná, pouze pokud se snažíme určit přesné střední polohy jednotlivých radiantů, je u velmi pomalých rojů účelné korigovat výsledek. Při fotografickém sledování meteorů je vzhledem k vyšší přesnosti nutné tuto korekci provádět. Odvození vztahů pro její velikost je velice jednoduché.

Pro korektní práci je důležité dodržet *pořadí* příslušných korekcí. Při výpočtu polohy radiantu z vektoru heliocentrické rychlosti je nutné napřed spočítat vektor geocentrické rychlosti, opravit jej o zenitovou atrakci a teprve nakonec o denní aberaci. Pokud ze zdánlivého radiantu meteoru počítáme heliocentrickou dráhu (a proto potřebujeme znát vektor heliocentrické rychlosti), musíme provést korekce v obráceném pořadí.

h/vg	15	20	25	30	40	50	60	70
-10	9.4	0.6						
0	16.9	9.1	5.8	4.0	2.2	1.4	1.0	0.7
10	24.7	17.8	14.9	13.4	11.9	11.2	10.8	10.6
20	32.6	26.6	24.1	22.9	21.6	21.0	20.7	20.5
30	40.6	35.5	33.4	32.4	31.3	30.8	30.6	30.4
50	56.8	53.5	52.2	51.5	50.8	50.5	50.4	50.3
70	73.4	71.7	71.1	70.7	70.4	70.3	70.2	70.1

Tab. 10.: Velikost posunu radiantu roje od původní polohy vlivem zenitové atrakce v závislosti na geocentrické rychlosti  $vg$  a výšce nad obzorem  $h$ .

## 6.4 Jaká je přesnost zákresu našich meteorů?

V zásadě můžeme mluvit o čtyřech typech chyb u zakresleného meteoru. Prvým a nejpodstatnějším typem je „natočení“ zákresu vůči skutečnosti, tedy *chyba směru*. Největší význam má proto, že i zdánlivě malá chyba směru znamená při značném zpětném prodloužení dráhy meteoru velký posun v určení polohy jeho radiantu. Často se proto pod termínem „chyby zákresu“ rozumí právě tento typ chyb. Druhým typem chyb je posun zakreslené stopy kolmo ke směru letu meteoru. Pokud neleží zakreslený meteor v těsné blízkosti radiantu, není tento typ chyb většinou významný. Nazývá se obvykle *chybou posunu*. Třetím a čtvrtým typem chyb jsou chyby v poloze zaznamenaného začátku a konce meteoru podél jeho dráhy. Při určování radiantu meteoru nemá tento typ chyb vůbec žádný význam, jsou však často rozhodující složkou chyb určení atmosférických drah meteorů, tedy výšek začátků a konců. Jinak se tento typ chyb případně uplatní jen při výběru rojových meteorů dle kritéria délek zakreslených stop. Je nazýván *chyby snosu počátku a chyby snosu konce*.

Velikost chyb lze určit buď srovnáním zákresu meteoru s fotografií nebo TV záznamem (k získání dostatečného materiálu je ovšem tato jednoduchá cesta téměř neschůdná), nebo srovnáním zákresů dvojic pozorovatelů a statistickým vyhodnocením rozdílů v zákresech. Tento postup je běžnější a je pro něj k dispozici programové vybavení na PC. Velikost středních kvadratických chyb zakresleného směru letu se u zkušených pozorovatelů pohybuje kolem  $6^\circ - 8^\circ$ , u začátečníků je obvykle větší, kolem  $10^\circ - 15^\circ$ . Příčné posuny mívají hodnoty  $1^\circ - 2^\circ$ , u začátečníků až  $4^\circ$ . Tyto velikosti platí za předpokladu, že nedošlo k chybě při identifikaci oporných hvězd. Pravděpodobné chyby zákresu jsou asi  $2/3$  těchto hodnot.

## 6.5 Kdy považujeme zakreslený meteor za rojový?

Posouzení příslušnosti meteorů k roji i dle jejich zákresů vyžaduje určitou praxi, kterou lze nejlépe získat zpracováním dvou až tří větších pozorovacích materiálů (z několika nocí) získaných během období aktivity poměrně silných rojů. Vhodné je, aby tyto roje měly různé geocentrické rychlosti (zpracovávají se tak seznámí s vlivem rychlosti meteorů roje na zaznamenané úhlové rychlosti). Obecně vzato existují dvě základní kritéria: směr letu meteoru a jeho rychlost (případně i délka, rozdíly v délkách však mohou být dost velké). Rozhodně nemůže k roji patřit velmi rychlý (a dlouhý) meteor spatřený v blízkosti radiantu ani velice pomalý (a krátký) meteor velmi daleko od něj. Určitým počátečním vodítkem jsou tabulky 6 a 7 v tomto návodu. Rozhoduje ovšem především směr letu; ve zpětném prodloužení by měl procházet v těsném okolí radiantu. To však neznamená, že meteor má jít přesně od radiantu; jednak totiž radianty

řady rojů nejsou vlivem rozdílů mezi drahami jednotlivých meteorů bodové, jednak existují chyby zákresů. IMO proto vydalo doporučení, v jaké vzdálenosti prodloužené stopy od radiantu lze meteor považovat za rojový v závislosti na vzdálenosti středu meteoru od radiantu. Čím je meteor od radiantu dál, tím větší je pochopitelně vliv chyb zákresu a použitý „rozměr“ radiantu proto musí růst. Protože vliv chyb zákresu je větší, než vliv skutečného rozměru radiantu, je pro všechny roje kromě rojů v tabulce vyjmenovaných používán „standardní rozměr“. V tabulce 4 udané hodnoty jsou *průměry*, nikoliv maximální vzdálenosti (tyto jsou polovinou průměrů).

Je nutné si uvědomit, že spolehlivost určení radiantů u slabých rojů silně limituje použitelnost pozorování a chybná určení velice ovlivní přesnost určených frekvencí. Při frekvenci roje kolem 1 meteoru za hodinu je i při dost pečlivé práci nejistota frekvence asi stejně velká, jako je frekvence samotná. Nejčastější chybou je přiřazení prakticky všech meteorů s vhodným směrem k roji. U Perseid sice tím nevznikne příliš velká chyba frekvencí (kromě „okrajů“ roje), ale bylo by přece podivné, kdyby z Persea nepřicházely žádné sporadické meteory (ve skutečnosti jich má radianty v Perseu poměrně dost; v blízkosti Plejád je apex).

Nejspolehlivější, ale dost pracnou metodu k posouzení, zda byl pozorovaný slabý roj skutečně aktivní, navrhl před lety autor spolu s J. Hollanem. V okolí „podezřelého“ radiantu si vybereme několik míst (obvykle 3 – 4), které považujeme za „fiktivní radianty“ a určíme, kolik by jednotlivým polohám mohlo příslušet meteorů. Skutečný radiant by jich měl poskytnout alespoň o  $2 * \sqrt{N}$  víc ( $N$  je počet meteorů od radiantu), abysme jej mohli považovat za reálný. Zde je ovšem nutné poznamenat, že tato metoda vyžaduje mít k dispozici materiál z více nocí (případně od více pozorovatelů); počet meteorů spatřených pozorovatelem za noc je totiž obvykle příliš malý pro její použití. Proto je lépe, když pozorovatelé mimo zpracování obvyklého statistického hlášení pošlou navíc úplné údaje o zakreslených meteorech do databáze zákresů.

## 6.6 Předání zprávy o pozorování meteorů

Z toho, co zde bylo již řečeno, je vidět, že jeden pozorovatel nebo menší osamocená skupina může plnohodnotný pozorovací materiál získat jen těžko. V pozorování budou nutně „díry“ způsobené nepříznivým počasím, ve dne se vizuálně pozorovat nedá vůbec, meteorů bude zachyceno příliš málo na to, aby pozorování bylo možné podrobně vyhodnotit. Proto se v tomto oboru amatérské astronomie rozvinula široká mezinárodní spolupráce, která vyústila do založení světových databází pozorovacích dat v rámci již zmíněné International Meteor Organization (IMO). Tyto databáze jsou pochopitelně uloženy na počítačových

mediích a protože by pro jejich správce byla dost šílená práce převádět do nich všechna data z „papírové podoby“, je nutné data v „počítačové podobě“ již odesílat (i tak má správce databází řádu práce; tato funkce se proto každoročně střídá). Data je možné odesílat elektronickou poštou nebo na disketách. Jako „sběrné centrum“ pro naši republiku působí členové výboru sekce meziplanetární hmoty; i my uvítáme „počítačovou podobu“ zaslaných dat. Je však jasné, že u nás dosud každý nemá volný přístup k PC (nebo PC doma), proto statistická hlášení můžeme do počítačové formy převést (pokud budou dobře zpracována na papíře); se zakreslenými meteory je to trochu horší. Objem dat z jednoho pozorování je příliš velký a nezvládně bychom přepis stovek meteorů do příčné formy.

Diskety s daty ve formě obyčejných textových souborů (Dbase soubory se obtížněji přenášejí e-mailem, informační vazby je stejně nutné vytvářet až do datečně – zajišťuje je správe bází) zasílejte na adresy:

*doc. Vladimír Znojil, Elplova 22, 628 00 Brno*

*Mgr. Petr Pravec, Astronomický ústav AVČR, 251 65 Ondřejov*

Diskety vám budou po vyhodnocení vráceny, dávejte přednost disketám 3 1/2", vejdou se do obyčejné obálky (případně vyztužené tužším papírem) a jsou při dopravě méně zranitelné. Můžete použít též e-mailu, jeho adresa je:

[ppravec@asu.cas.cz](mailto:ppravec@asu.cas.cz)

Odesláním na tyto adresy získáte odborné posouzení vašich pozorování a zajistíte navíc to, že pokud vaše pozorování budou dobrá, budou skutečně využita (každý rok je z pozorování shromážděných v databázích zpracováno několik odborných prací).

## 6.7 Statistické hlášení o pozorování meteorů

Databáze pozorování se skládá z více souborů vzájemně pospojovaných systémem odkazů. Tyto odkazy v současné době nelze prakticky vytvářet při jednotlivých hlášeních. Pro naše národní ústředí je navržena forma předávání zpráv v současné době tato:

- záhlaví pozorování;
- jednotlivé pozorovací noci;
- případné poznámky k celému průběhu pozorování.

Hlášení začíná a končí řádkou alespoň 20 znaků =, stejně tak jsou od sebe odděleny jednotlivé pozorovací noci.

Záhlaví pozorování obsahuje na prvním řádku název pozorovacího místa a jeho souřadnice, na dalších řádcích seznam pozorovatelů a jejich zkratk. Souřadnice uvádějte ve stupních a minutách (případně i na vteřiny, nejsou však povinné), ve tvaru *Zssmmvv*; nejdříve zeměpisnou délku, potom šířku. Prvý znak

udává směr: *N* je sever, *S* jih (kdybyste někdo pozoroval z Kapského města), *W* západ (například Portugalsko), *E* východ. Lze udat nepovinně i nadmořskou výšku v metrech, má tvar *Hxxxx*, kde písmeno *H* je povinné a za ním následují 4 číslice. Zkratky jmen pozorovatelů jsou tvořeny ze tří prvních písmen příjmení a dvou písmen křestního jména.

Hlášení z pozorovací noci se skládá ze tří částí (vyjímečně lze jako čtvrtou část připojit poznámky k příslušné noci). Jednotlivé části je vhodné od sebe oddělit řádkou alespoň 20 znaků -. V prvním řádku je nutné uvést datum (večerní i ranní), doporučený tvar je: *rrrr mm dd/dd*, dále pak začátek prvního a konec posledního pozorovacího intervalu ve tvaru *hhmm*, čas **musí** být v UT. Další řádky obsahují seznam vyhodnocovaných rojů, bez ohledu na to, zda jsme od nich nějaký meteor zaznamenali, nebo ne (negativní výsledek je také výsledek; zvláště u nepravidelných rojů). Roje jsou v tomto seznamu uváděny třípísmennou zkratkou a polohou radiantu dle seznamu uvedeném v tomto návodu (ne vždy je totiž technicky možné vyhodnocovat všechny radianty, které jsou v příslušnou dobu na obloze). Nezapomínejte na to, že poloha radiantů se den ode dne mění, polohy uvádějte vždy dle nového data platného od půlnoci.

Druhá část obsahuje seznam pozorovacích intervalů a základní statistiku meteorů jednotlivých rojů a sporadických meteorů – na sporadické meteory **nesmíte** zapomínat, jejich vynechání je tolerováno jen za velmi vysokých frekvencí. Tento seznam je zpracováván zvláště pro jednotlivé pozorovatele a intervaly. Intervaly by neměly být kratší než 0.5 hod (s výjimkou náhlého zvratu pozorovacích podmínek nebo vysokých frekvencí; pak volíme intervaly tak, aby v každém bylo průměrně 10 až 20 meteorů roje) a delší než 1.5 hod (toto omezení je třeba striktně dodržet, vyplývá z metodiky dalšího zpracování dat); doporučená délka je 1 hod. Každý řádek začíná 5 znaky zkratky pozorovatele, za nimiž je mezera (u materiálů od jednoho pozorovatele lze obojí vypustit). Dále je vždy čas počátku a čas konce pozorovacího intervalu, zásadně v UT; poloha sledované oblasti na  $10^\circ$  nebo  $15^\circ$  v rektascenzi a v deklinaci (údaj je vhodné uvádět, ale není dosud striktně vyžadován); například když bylo sledováno pole u  $\delta$  Cep, uvedeme  $330^\circ +60^\circ$ . Dále efektivní čas pozorování (po odečtení krátkých přestávek během intervalu a času potřebného na zápis a kreslení) na setiny hodiny; korekční faktor oblačnosti *F* a průměrná mezí hvězdná velikost. Poté následují pro každý analyzovaný roj dva sloupce (včetně sporadických meteorů, kterým přísluší poslední dvojice), v prvním z nich je uvedena metoda pozorování (*C* počítání, *P* kreslení), v druhém počet meteorů roje v intervalu. Norma totiž v zásadě dovoluje kreslit jen „vybrané“ meteory (kvůli studiu slabých rojů během vysokých frekvencí), tento postup však nelze doporučit ani dost zkušeným pozorovatelům.

Ve třetí části jsou tabelovány distribuční funkce jasností meteorů jednotli-

```

=====
Location                               Upice
Coordinates                             N503027 E160044
=====

```

```

Observers:
DUSJI   Jiri Dusek
KORDA   Dana Korcakova
=====

```

```

Date 1993 08 11/12 2030 0217
Showers analysed: PER 46 +58
                  SPO
=====

```

```

Interval data:
      Beg. End  CENT  Teff  F    LM    PER    SPO
      M    N    M    N
DUSJI 2030 2117 330 60  0.78 1.18  5.1  C 15  C  3
DUSJI 2307 2347 330 60  0.67 1.88  5.4  C  9  C  1
DUSJI 0121 0148 330 60  0.45 1.18  5.7  C 29  C  3
DUSJI 0204 0217 330 60  0.22 1.08  4.5  C 24  C  0
=====

```

```

Magnitude data:
Name  Beg. End Sh  -4.5-2 -1  0    1    2    3    4
DUSJI 2030 2347 PER 0  0  0  2  1  0  4  5  3  1  4  4  0
DUSJI 2243 0106 PER 1  5  3 12  5  7  5  6  1  2  3  1  2
DUSJI 2243 0106 SPO 0  0  0  0  0  0  0  2  0  0  2  2  1
=====

```

```

Date 1993 08 12/13 2000 0215
Showers analysed: PER 47 +58
                  SPO
=====

```

```

Interval data:
      Beg. End  CENT  Teff  F    LM    PER    SPO
      M    N    M    N
DUSJI 2000 2118 330 60  1.30 1.00  6.0  C 57  C 11
DUSJI 2239 2330 330 60  0.85 1.00  6.4  C 45  C 10
DUSJI 2330 0008 330 60  0.63 1.00  6.2  C 35  C  4
DUSJI 0025 0122 330 60  0.95 1.18  6.1  C 50  C  7
DUSJI 0130 0215 330 60  0.75 1.28  5.9  C 28  C  5
KORDA 2212 2311  15 70  0.98 1.00  5.9  C 45  C 11
KORDA 2311 0003  15 70  0.70 1.00  5.8  C 32  C 11
=====

```

```

Magnitude data:
Name  Beg. End Sh  -4 -3 -2  -1  0    1    2    3    4    5
DUSJI 2000 2330 PER  1  0  0  0  0  1  9  9  8  4  9 12  9 16 13  9  2
DUSJI 2330 0215 PER  0  0  0  2  1  1  9  6 12 15 21 10  8  7 17  4  0
DUSJI 2000 0215 SPO  0  0  0  0  0  0  2  0  2  5  1  3 11  3  6  3  1
KORDA 2212 0003 PER  0  2  0  0  3  1 14  7 10  7  6  5  7  3  9  2  1
KORDA 2212 0003 SPO  0  0  0  0  0  0  4  0  3  1  3  1  4  2  2  1  1
=====

```

Obr. 19.: Příklad hlášení pozorování do statistické báze dat IMO.

vých rojů včetně sporadických meteorů. Do této části je v jednom řádku sloučeno obvykle více pozorovacích intervalů (často i celá pozorovací noc). Slučovat intervaly ovšem není vhodné za těchto okolností:

- když došlo během noci k výraznější změně m<sub>h</sub>v, například během pěti intervalů byla postupně 6.3, 6.1, 5.7, 5.6 a 6.2; je třeba sloučit intervaly 1+2, 3+4 a 5 nechat zvlášť.

- pokud je roj velmi aktivní; není přípustné, aby celkový počet meteorů na jednom řádku byl vyšší než 100; také není vhodné slučovat příliš mnoho intervalů za situace, kdy se frekvence roje velmi výrazně mění, obvykle se totiž pak mění i zastoupení meteorů různých jasností (tímto případem bylo například pozorování během noci maxima Perseid, při nichž se projevila nejmladší složka roje velkou změnou frekvence; tato složka obsahovala především jasné meteory).

Obecně lze intervaly pro různé roje (případně sporadické meteory) slučovat různě, vhodnější je ale provádět dělení tak, aby „základní řezy“ byly společné. Například 5 intervalů za vyšší frekvence Perseid (230 meteorů) a  $\delta$ -Aquarid (80 meteorů, sporadických 40) je možné rozdělit takto: Perseidy 1+2, 3+4, 5; Aquaridy 1+2, 3+4+5; sporadické nedělit.

Každý řádek statistiky distribučních funkcí obsahuje: zkratku pozorovatele, čas začátku prvního slučovaného intervalu a čas konce posledního slučovaného intervalu (pokud pozoroval jen jeden pozorovatel, lze jeho zkratku vynechat, stejně tak lze vynechat časy, pokud jsou vesměs všechny intervaly slučovány), označení meteorického roje třípísmennou zkratkou, případně *SPO* pro sporadické meteory, a tabulku počtů meteorů k jednotlivým jasnostem po 0.5 mag. Počet meteorů musí souhlasit se součtem počtů v příslušných částech tabulky intervalů v minulé části hlášení. Pokud se meteor o poloviční magnitudě nevyškytl, lze příslušný sloupec vynechat. Na konci lze vyjimečně připojit sloupec se záhlavím „?“, v němž je počet meteorů, u nichž nebyly udány jasnosti.

K tabulkám ve 2. a 3. části je vhodné uvést pro přehlednost jejich záhlaví (u části 3 je to prakticky nutnost, jinak by totiž nebylo zřejmé, ke kterým jasnostem se příslušné počty vztahují). Příklad vhodné formy hlášení je na obrázku 19.

K hlášení lze do samostatných částí připojit poznámky (například o zkušenostech pozorovatelů, problémech, které se vyskytly a podobně). Musejí být psány v angličtině a uvedeny heslem *Comments*.

## 6.8 Zpráva do databáze zakreslených meteorů

Jak již bylo řečeno, budeme u těchto dat až na zcela mimořádné případy vyžadovat jejich zaslání přímo v „počítačové formě“, vzhledem k větším rozsahům je třeba se také striktněji držet následujícího popisu, úprava dat dodaných v jiné

podobě totiž může být velice složitá a pracná.

Hlášení se skládá ze záhlaví, seznamu meteorů a seznamu poznámek, pozorování z každé noci je samostatným hlášením. Při zasílání napozorovaných dat zasílejte jednotlivá hlášení oddělená řádkem alespoň 20 znaků =, jejich jednotlivé části oddělujte alespoň 20 znaky -. Část „poznámky“ není povinná.

Záhlaví obsahuje základní údaje o pozorování. Na prvním řádku je uvedeno datum (ve tvaru *rrrr mm dd/dd*), po dvou mezerách zkratka pozorovatele (stejná jako u statistického hlášení) a po mezeře jeho plné jméno. Na druhém řádku pozorovací místo a jeho souřadnice (způsob jejich zadání je stejný, jako u statistického hlášení). Třetí řádek má standardní obsah:

Method=„P“ MAP=„BR00“

a udává metodu pozorování (kreslení, jiné typy zatím nepřipadají v úvahu) a použitý gnomonický atlas včetně ekvinokcia (Gnomonický atlas Brno 2000.0 je standardem, jiné a starší dosud povolené atlasy u nás nejsou dostupné). Po volném řádku následuje záhlaví tabulky pozorovacích intervalů (nejsou délkou trvání omezeny, neměla by se však v jejich průběhu příliš měnit viditelnost, nebo poloha sledované oblasti). Tato část (se schematickým znázorněním jednoho řádku) vypadá takto:

Beg.	End	Lm	RA	Dec.
hhmm	hhmm	x.x	rrr	sdd

a obsahuje čas začátku a konce pozorování na hodiny a minuty UT, mezní hvězdnou velikost, polohu středu sledované oblasti v rektascenzi a v deklinaci na  $10^\circ$ . Tím tato část dat končí.

Seznam meteorů má zcela pevný tvar. Obsahuje 14 položek, nevyužitě musí být mezerovány, na konci mohou být vynechány. Jejich seznam (*MM* značí povinné mezery) včetně typů a délek je:

Č	Jméno	Typ	Délka	Obsah
1	REF_NO	numer.	4	reference - pro teleskop., vizuálně <i>MM</i>
2	HOURL	numer.	2	hodiny UT
3	MIN	numer.	2	minuty
4	SEC	numer.	2	sekundy, nejsou povinné (jinak <i>MM</i> )
5	MAG	numer.	4	jasnost na půl magnitudy (tvar <i>xx.x</i> )
6	VEL	znak.	2	rychlost
7	TYPE	znak.	2	typ - pro teleskop., vizuálně <i>MM</i>
8	RABEG	numer.	6	rektascenze počátku
9	DECBEG	numer.	6	deklinace počátku
10	RAEND	numer.	6	rektascenze konce
11	DECEND	numer.	6	deklinace konce

```

=====
1993 09 08/09 MICIV Ivo Micek
Sibenicky vrch N485150 E173658
Method="P" Map="BR00 "

```

Intervals:

```

Beg. End Lm RA Dec.
2000 2130 6.3 280 +10
2150 2300 6.1 310 +10

```

```

-----
2015 3.5 C 270.6 12.8 275.1 8.1 2
2017 -1.0 D 238.8 30.2 262.1 11.6 1 0001
2118 2.0 A 291.1 40.3 290.6 42.4 3
2208 1.520 305.8 20.4 300.7 40.0 1 0002
2240 2.5 8 300.3 12.8 299.6 15.2 2

```

0001 Persistent train, t=8 s.

0002 Wake, Observation is only fictive.

```

=====

```

Obr. 20.: Příklad zaslání výsledků ze zakreslování meteorů.

12	ACC	numer.	1	ocenění kvality zákresu
13	ID	znak.	3	odkaz na záhlaví, nyní povinně <i>MM</i>
14	REM	znak.	4	odkaz na poznámku nebo <i>MM</i>

Jasnost 4 je tedy zapsána jako 4.0 a podobně. Rychlost je udávána (jak již bylo zdůrazněno při popisu pozorování) buď ve stupních za sekundu, nebo ve škále „A“ až „F“. Souřadnice se zapisují vesměs ve tvaru *xxx.x* následovaném mezerou (setiny stupně nejsou při vizuálním pozorování využity). Ocenění nabývá hodnot 1 – 3, na rozdíl od našich zvyklostí je 1 nejlepší, 3 nejhorší. Odkazy na poznámky musí být přidělovány dodatečně, předběžné přidělení je provedeno čísly 0001 – 9999. Tato část dat je bez jakéhokoliv záhlaví. Pokud nebudete mít k dispozici program pro přepočítání poloh, přidejte ke každému řádku položku 15 FIE s dvouciferným číslem listu gnomonického atlasu a do rubrik 8 – 11 pište souřadnice v mm; stejným způsobem jako polohu ve stupních (dle návodu na oměřování map).

Ve třetí části je seznam poznámek k jednotlivým meteorům. Každá poznámka má na začátku 4 znaky své identifikace (odpovídá příslušnému označení v rubrice REM) a dále je vyhrazeno nanejvýš 75 znaků na text poznámky v otevřené řeči. Delší poznámky nejsou přípustné, není přípustných víc řádků poznámky k jednomu meteoru. Poznámky musí být v angličtině. Příklad podrobného hlášení je na obrázku 20.

## 6.9 Dodatky k formám hlášení o pozorování

Výpočet faktoru oblačnosti  $F$  je velice jednoduchý. Platí

$$F = \frac{100}{100 - C}, \quad (11)$$

kde  $C$  je průměrná oblačnost v %. Jak při výpočtu oblačnosti, tak i při výpočtu průměrné mezní hvězdné velikosti počítáme s váženými průměry, vahou je délka časových intervalů. Máme-li při pozorování od  $T_B$  do  $T_E$   $n$  odhadů oblačnosti  $c_i$  v časech  $t_i$  ( $i = 1, n$ ), přičemž  $t_1 = T_B$  a  $t_n = T_E$  potom můžeme průměr spočítat jako:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{(t_{i+1} - t_{i-1}) * c_i}{T_E - T_B}, \quad (12)$$

kde za  $t_0$  dosadíme  $T_B$  a za  $t_{n+1}$  dosadíme  $T_E$ . Pokud při dělení pozorovacího intervalu na dva kratší nemáme k dispozici určení oblačnosti (nebo mhv) na zvolené hranici intervalů, interpolujeme potřebnou hodnotu z hodnot před hranicí  $c_A$  v čase  $T_A$  a za ní  $c_C$  v čase  $T_C$ , hodnota  $c$  v čase  $T$  je dána vztahem

$$c = \frac{c_A * (T_C - T) + c_C * (T - T_A)}{T_C - T_A}, \quad (13)$$

Stejným způsobem počítáme střední hodnotu mezní hvězdné velikosti. Z hlubší teorie korekcí sice plyne, že v IMO používaný postup popsany výše není zcela korektní, za podmínek, v nichž je používán (nepříliš proměnlivé pozorovací podmínky při mhv lepší než 5.0 mag, průměrná oblačnost do 25 %), však plně vyhovuje. Při pozorování za vyjímečně špatných podmínek (jaké například byly při Perseidách v letech 1992 a 1993) ale může být významným zdrojem nepřesnosti získaných výsledků. Obvykle jsou ale pozorování za velmi špatných podmínek z dalšího zpracování vylučována.

Je vidět, že je možné (a velice užitečné) z pozorování spojených se zakreslováním poslat **dvojí hlášení**. Jedno, u něhož jsme vyhodnotili příslušnosti meteorů k rojům postupy popsány výše; i druhé, s podrobnými daty o zákresech. Obě báze dat totiž nejsou propojené, z prvé je prováděna především analýza frekvencí a populačních indexů (včetně jejich změn), z druhé pak především poloh radiantů a přítomnosti slabých meteorických rojů (včetně odhadů jejich vlastností).

Na závěr je třeba ještě dodat, jak nahlásit přítomnost meteorického roje, který není v seznamu IMO. Především bych rád upozornil na to, že "rojománie"

se dnes moc nenosí (na rozdíl od minulého století a prvé poloviny našeho). Pokud může mít několik sporadických meteorů ze stovek napozorovaných společný radiant, neznamená to ještě přítomnost dalšího meteorického roje. Samozřejmě, může se stát, že frekvence dosáhne desítek meteorů v hodině; ale takové štěstí má málokdo. Obvykle pozorujeme od dosud nám neznámého roje jen jednotlivé meteory. Potom je především nutné pořídit důkladnou dokumentaci. Pokud nezakreslujete, okamžitě začněte s kreslením. Jednak můžete určit poměrně slušně polohu radiantu, jednak je možné provést podrobnější analýsu zákresů a věrohodnosti nově zjištěného roje. Zvolte pro roj vhodnou zkratku (dle označení blízké hvězdy, ale tak, aby se nekryla s již zavedenými zkratkami) a vypracujte pro něj statistiky stejně jako pro ostatní roje. Pokud nejde o skutečně vyjimečnou aktivitu, zprávu o jeho pozorování formulujte velice opatrně. Protože u meteorických rojů neexistují žádná pravidla o prioritě objevu (objevitelé zůstávají většinou anonymní a jsou uváděni pouze v monografiích a historických přehledech) nemusíte moc spěchat. Rozhodně je vhodné takový pozorovací materiál nechat velmi důkladně proanalýzovat, zda šlo skutečně o meteorický roj, nebo spíše o náhodnou shodu.

## 7 Na závěr něco málo o zpracování

Mnozí z pozorovatelů si chtějí ze svých pozorování získat alespoň část výsledků sami. Obvykle chtějí vědět alespoň, jaká byla frekvence meteorických rojů, které pozorovali. Dostí podrobný návod je sice v knížce *M. Plavec: Meteorické roje* (NČSAV, 1956), ale jak letopočet napovídá, je tento návod již velmi zastaralý. Hlavním problémem je korekce počtu spatřených meteorů na mezní hvězdnou velikost, který byl tehdy dělán nesprávně. Použité korekční koeficienty jsou kompromisem mezi průměrnou velikostí korekce pro meteory velkých rojů a pro meteory sporadické. Problém je v tom, že není přece stejné, zda korigujeme pozorování roje obsahujícího velmi mnoho jasných meteorů a skoro žádné slabé, nebo sporadických meteorů, mezi nimiž je slabých mnoho. Za špatné viditelnosti roj překorigujeme (použité koeficienty budou příliš vysoké, bereme opravu i na velmi slabé meteory, které v roji skoro nebyly) a sporadické meteory podhodnotíme. Základní problém spočívá v určení populačního indexu meteorů roje v době pozorování a sporadických meteorů. Jak tedy postupovat? Populační index lze určit mnoha způsoby, jeho odhad lze udělat i z průměrné jasnosti spatřených meteorů, ale tato hodnota nebývá při běžných počtech meteorů dost přesná. Lepší postup je popsán například v knize *Astronomická příručka* v příspěvku *V. Znojila* na stránkách 107 - 109. V této knížce je také popis základní metodiky zpracování napozorovaných dat. Při zpracování údajů

z databáze IMO jsou používány jiné postupy, vesměs popsané v řadě článků publikovaných v členském časopise IMO – *WGN*. Slabinou všech těchto postupů je to, že sami snad nikdy nezískáme tak velký pozorovací materiál, aby daly dost přesné výsledky.

Pro první orientaci bych proto pozorovatelům navrhl, aby raději použili průměrných hodnot populačních indexů tabelovaných v tabulce 1; pokud nepozorovali za zvláště špatných podmínek, nebudou chyby, kterých se tím dopustí, příliš velké. Za populační index slabého neprostudovaného roje je nejvhodnější použít hodnotu 2.8, za populační index sporadických meteorů 3.2. Pro Perseidy v maximu je nejlépe použít asi 2.4.

## 7.1 Výpočet redukované frekvence (HR) z pozorování

Po vypracování zprávy do databáze statistických hlášení vlastně již údaje pro výpočet frekvence známe. Je to počet meteorů  $N$  v příslušné skupině, jejíž frekvenci chceme počítat, čistý pozorovací čas  $T$ , faktor oblačnosti  $F$  a mezní hvězdná velikost  $m$ . Pro frekvenci pak platí

$$HR = \frac{N * F * r^{M-m}}{T}, \quad (14)$$

kde  $M$  je mhv při standardní viditelnosti (IMO používá 6.5 mag, u nás bývá užívána hodnota 6.0 mag). Odhadnout chybu, s níž je frekvence určena, je ovšem těžší. Skládá se totiž z chyb, které vznikly jednak statistickým kolísáním hodnoty  $N$ , jednak nepřesností korekčních faktorů ( $F, r, m$ ). Při nízkých frekvencích bývá rozhodující složkou chyby frekvence kolísání hodnoty  $N$ , pro její velikost  $\delta N$  za předpokladu Poissonovského procesu platí

$$\delta N = \sqrt{N + 2}. \quad (15)$$

V tomto případě je chyba frekvence

$$\delta HR = \frac{\delta N * HR}{N}. \quad (16)$$

Pokud nejsou uvedené předpoklady splněny, je chyba vesměs větší a její výpočet je mnohem složitější; je nutné ocenit velikost všech zdrojů chyb.

## 7.2 Výpočet zenitové frekvence meteorického roje (ZHR)

Také tento výpočet je popsán v Astronomické příručce, kde jsou také naznačeny některé problémy s ním související. Pokud není radiant roje během pozorovacího intervalu příliš nízko a interval příliš dlouhý, lze počítat korekční faktor

z průměrné výšky radiantu nad obzorem bez použití integrálních vzorců. Nechť je uprostřed pozorovacího intervalu místní hvězdný čas  $\Theta$ , souřadnice radiantu  $\alpha$ ,  $\delta$  a zeměpisná šířka pozorovacího místa  $\varphi$ . Potom

$$\sin h = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \cos(\alpha - \Theta). \quad (17)$$

Takto spočtenou výšku radiantu je nutné opravit o vliv zenitové atrakce (byl popsán v minulé části návodu), který výšku radiantu *zvětší*. Korekce z HR na ZHR je dána vztahem

$$ZHR = \frac{HR}{\sin^a h'}, \quad (18)$$

kde  $h'$  je opravená výška nad obzorem a exponent  $a$  je při vizuálních pozorováních považován za rovný 1. Z rozsáhlých rozborů je zjištěno, že je pravděpodobně menší než 1.2, což však neplatí pro fotograficky zachycené meteory, pro které je asi 1.5.

## 7.3 Další literatura

V omezeném rozsahu tohoto přehledu nelze vyjmenovat všechny práce zabývající se metodikou pozorování meteorů nebo zpracování napozorovaných dat. Z druhé strany je většina publikovaných prací poměrně obtížně dostupná. Mnoho z nich vyšlo před více lety jako účelové tisky různých organizací zabývajících se meteorickou astronomií a dnes už je většinou možné tyto materiály získat jen od jejich původních vydavatelů. U častěji citovaných zdrojů jsou použity tyto zkratky:

*PHB* - Práce hvězdárny a planetária MK v Brně (dříve Práce lidové hvězdárny a planetária v Brně).

*WGN* - *Werkgroepneews*, časopis mezinárodní společnosti pozorovatelů meteorů IMO.

*ZHB* - Zprávy hvězdárny a planetária MK v Brně.

### 7.3.1 Návody k pozorování:

*Hollan J.: Návod na pozorování meteorů; vydala Hvězdárna a planetárium MK v Brně; účelový tisk, 1983. Druhé, podstatně přepracované vydání 1985. Velmi dobrý a podrobný návod pro ty, kteří mají základní znalosti o astronomickém pozorování. Odpovídá současným trendům, ale je rozebrán.*

*Hollan J.: Jak se pozorují meteory dalekohledem; vydala Hvězdárna a planetárium MK v Brně; účelový tisk, 1987. Velmi stručný popis současného standardu teleskopických pozorování rojů, 3 stránky.*

*Hollan J.: How to observe meteors by naked eyes; vydala Hvězdárna a planetárium MK v Brně; účelový tisk, 1990. Podrobný návod na pozorování a zpracování získaných dat (v angličtině). Existuje i česká mutace na disketě.*

*Roggemans P. (editor): Handbook Visual Meteor Observations; 2. přepracované vydání (1. v angličtině), 1987; Velmi podrobný návod na pozorování, který se stal prvním standardem IMO. Obsahuje řadu zajímavých údajů o meteorických rojích, mnoho schemat a tabulek i obsáhlý soupis literatury (143 stran). Je rozebrán; v současné době je připravováno jeho další, modernizované vydání.*

*Roggemans P.: The Visual Meteor Database; WGN 16 (1988), 179 - 186; WGN 17 (1989), 31. Popis metodiky pozorování a dat předávaných do mezinárodní databáze IMO, v druhé části jsou obsaženy změny a doplňky.*

*Koschack R.: New Reporting Forms for Visual Observations; WGN 18 (1990), 36 - 38. Nová forma předávání dat IMO.*

*Znojil V.: Meteorology a návod k jejich pozorování; v knize „Astronomická příručka“ (1992), nakl. Academia, Praha, 88 - 114. Trochu obecnější a širěji zaměřený návod, vhodný spíš pro zkušenější pozorovatele - nemeteoráře.*

### **7.3.2 Návodů zaměřené na zpracování napozorovaných údajů:**

*Kohoutek L., Kvíz Z.: Návod na základní zpracování vizuálních pozorování meteorů; PHB No 2 (1965), 7 - 21. Základní návod na statistické zpracování a sestavení přehledů.*

*Znojil V., Grygar J., Mikulášek Z., Šimek M., Šulc M.: The relation between meteor optical brightness and properties of the ionized trail. I. Observational techniques and basic characteristics of the observational data; Bull. Astron. Inst. Czechosl. 31 (1980), 14 - 25. Základní práce o pozorovacích chybách a metodách jejich analýzy. Obsahuje rozbor vlastností chyb.*

*Znojil V.: Metody určení strmosti luminositních funkcí a toků sporadických a rojových meteorů; vydala Odbočka Slovenskej Astr. Spoločnosti v Bánskej Bystrici (1983), účelový tisk. Velmi podrobný návod, zaměřený na vizuální i teleskopická pozorování. Vyžaduje určité znalosti matematiky. Metodicky je dosud moderní.*

*Koschack R., Rendtel J.: Determination of Spatial Number Density and Mass Index from Visual Meteor Observations; WGN 18 (1990), 44 - 58, 118 - 140. Výpočet hustot rojů a strmosti luminositní funkce; popis absolutní metodiky výpočtu pomocí vyhodnocení individuálních pravděpodobností zachycení meteorů.*

*Brown P.: On the Cause and Nature of Error in Zenithal Hourly Rates; WGN 18 (1990), 141 - 145. Analýza zdrojů chyb určení frekvencí meteorů.*

*Koschack R.: Analysis of Visual Plotting Accuracy and Sporadic Pollution and Consequences for Shower Association; WGN 19 (1991), 225 - 241. Přesnost zákresů a její vliv na zjištění radiantu roje a určení jeho frekvence.*

*Arlt R.: The Software „Radiant“; WGN 20 (1992), 62 - 69. Popis programu pro vyhledání radiantů z vizuálních dat s ukázkami výsledků.*

*Pravec P., Boček J.: Precision of Telescopic Meteor Recordings. Plotting Errors and Recording Probability; WGN 20 (1992), 70 - 83. Příklad analýzy pozorovacích chyb, obsahuje řadu citací na další práce zabývající se touto problematikou.*

### **7.3.3 Obecnější literatura zaměřená na meteory:**

*Plavec M.: Meteorické roje; Nakladatelství ČSAV, Praha 1957. Poslední česká monografie zaměřená na meteorickou astronomii; přes značné stáří dosud zajímavá. Cenná historická památka.*

*Mikulášek Z., Znojil V., Okáč Z.: Slovníček základních pojmů z meteorické astronomie; ZHB 73 (1981). Výkladový slovník a přehled článků v našich populárně odborných časopisech.*

*Tuček K.: Meteority a jejich výskyty v Československu; Academia, Praha 1981. O meteorech z druhé strany - mineralogie a chemie meteoritů.*

## **7.4 Konec**

A proč ne raději začátek pozorování? Co nejčistší oblohu a hodně úspěchů přeje autor.

**Vydala Sekce meziplanetární hmoty  
České astronomické společnosti  
jako svoji 1. publikaci  
Vydání 1., Brno prosinec 1993,  
Počet výtisků 300**