



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky



Mgr. Marek Buček

Autoreferát dizertačnej práce

Genetický súvis malých telies slnečnej sústavy: meteorický
komplex Tauríd

na získanie akademického titulu philosophiae doctor

v odbore doktorandského štúdia:

4.1.7 – 8. Astronómia a astrofyzika

Miesto a dátum:

Bratislava, 2011

(2. strana autoreferátu)

Dizertačná práca bola vypracovaná
(v dennej forme doktorandského štúdia)

na Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave

Predkladateľ: **Mgr. Marek Buček**
Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Oddelenie astronómie, fyziky Zeme a meteorológie

Školiteľ: **prof. RNDr. Vladimír Porubčan, DrSc.**
Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Oddelenie astronómie, fyziky Zeme a meteorológie

Oponenti:
.....
.....
.....
.....
.....

(meno a priezvisko oponenta s uvedením jeho titulov a hodností
a názov ustanovizne, s ktorou je oponent v pracovnom pomere)

Obhajoba dizertačnej práce sa koná o h
pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce v odbore doktorandského štúdia vymenovanou
predsedom odborovej komisie
(uviesť dátum vymenovania)

4.1.7 – 8 Astronómia a astrofyzika
(študijný odbor) (názov študijného programu doktorandského štúdia)

na
(presná adresa miesta konania obhajoby dizertačnej práce)

Predseda odborovej komisie:
doc. RNDr. Jozef Klačka, CSc.
Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Oddelenie astronómie, fyziky Zeme a meteorológie

OBSAH

Cieľ práce	5
1. Úvod do problematiky	5
2. Metodika spracovania	8
2.1 Databázy.....	10
3. Výsledky dizertačnej práce	11
3.1 Filamenty komplexu Tauríd	11
3.2 Potenciálne roje v komplexe Tauríd	12
3.3 Potenciálne materské telesá komplexu	14
Použitá literatúra.....	17
Abstrakt.....	19
Zoznam publikovaných prác doktoranda.....	20

Cieľ práce

Cieľom práce je analýza jesennej časti komplexu Tauríd využitím dostupných aktuálnych databáz fotografických, televíznych a radarových pozorovaní meteorov, odvodenie dĺžky aktivity a analýza stavby komplexu. Ďalej definovanie filamentov odpovedajúcich jednotlivým vetvám a overenie ich príslušnosti ku komplexu. V neposlednom rade si predkladaná práca kladie za cieľ hľadanie potenciálnych materských telies komplexu a objasnenie jeho štruktúry.

V prvej časti práce sa venujeme výberu meteorov komplexu z jednotlivých databáz, analýze jeho štruktúry z fotografickej a radarovej databázy IAU Meteor Data Center, televíznej databázy SonotaCo a hľadaniu odpovedajúcich si filamentov a vetiev komplexu. Pre každú z databáz sme určili stredný denný pohyb radiantov a redukciou na jednotnú dĺžku Slnka sme získali veľkosti a tvary radiačných plôch jednotlivých vetiev.

V druhej časti práce sme sa zamerali na hľadanie potenciálnych materských telies komplexu a vetiev medzi objektmi NEO. Z aktuálnych databáz NEO objektov sme na základe podobnosti oskulačných dráhových elementov medzi vetvami komplexu a objektmi NEO určili potenciálne asociácie. Realitu získaných asociácií sme overovali analýzou dráhového vývoja za posledných 10 000 rokov.

v záverečnej časti sme zo získaných asociácií medzi filamentami komplexu Tauríd a NEO objektami vybrali telesá, ktoré by mohli súvisieť s kométou 2P/Encke. Analýzou dráhového vývoja asociácií sme vybrali telesá, ktorých súvis s kométou Encke je najpravdepodobnejší.

1. Úvod do problematiky

Klasickými materskými telesami meteorických rojov sú kométy, pre ktoré existuje pravidelný mechanizmus uvoľňovania meteoroidálnych častíc. Tento mechanizmus vychádza z modelu kometárneho jadra, ktorý vypracoval Whipple (1950) a je riadený sublimáciou ľadu vo vzdialenostiach menších ako 3 AU. Pravdepodobnosť uvoľnenia častíc rastie s klesajúcou heliocentrickou vzdialenosťou kométy, ako dôsledok jej rastúcej aktivity, ktorá je najintenzívnejšia v oblasti perihélia. Rýchlosti udelené časticiam v dôsledku ejakcie sú v porovnaní s dráhovou rýchlosťou materskej kométy podstatne nižšie (napr. Sykes a Walker, 1992) a častice zostávajú na dráhe veľmi podobnej materskému telesu. Počiatočný rozptyl dráh častíc daný rozdielnou veľkosťou ejakčných rýchlostí a smeru ejakcie sa vplyvom

gravitačného pôsobenia a negravitačných efektov (hlavne tlaku slnečného žiarenia) postupne zväčšuje (Williams, 1995). Rozdielne hodnoty veľkých polosí dráh vedú k rôznym obežným dobám častíc, ktoré sa postupne rozložia pozdĺž celej dráhy v rovine materského telesa za relatívne krátky čas (McIntosh, 1991).

Pri asteroidoch je treba uvažovať rozdielny mechanizmus vzniku potenciálneho meteoroidálneho prúdu, keďže chemické zloženie týchto objektov sa od komét líši a podobný mechanizmus uvoľňovania častíc pri asteroidoch neexistuje. Najčastejšie uvažovanými mechanizmami vzniku asteroidálneho prúdu sú zrážky, slapový rozpad, resp. termálna tenzia v tesných prechodoch okolo Slnka. Uvedené mechanizmy predstavujú v princípe jednorázové udalosti a prúd nie je ďalej dopĺňaný novými časticami, čo obmedzuje jeho životnosť na podstatne kratšie obdobie ako je tomu pri kometárnych prúdoch.

V súčasnosti je známych viac ako 200 meteorických rojov, avšak len pre niekoľko z nich sú spoľahlivo určené materské telesá. Tieto materské telesá sú vo všetkých prípadoch kometárneho pôvodu, s výnimkou materského telesa Geminíd, ktorým je pravdepodobne asteroid (3200) Phaethon. Pokiaľ sa v blízkosti meteorických prúdov nachádzajú telesá asteroidálneho i kometárneho pôvodu je z vyššie uvedených dôvodov za materské telesá potrebné uvažovať oba typy telies. O existencii takýchto dynamických skupín, ktoré sú tvorené asteroidmi, kométami a meteorickými prúdmi sa uvažovalo už dávnejšie, ako napr. v súvislosti so zoskupovaním dráh pri analýze výsledkov z Harvardského rádiového programu (Sekanina, 1973, 1976).

Prototypom takejto dynamickej skupiny je meteorický komplex Tauríd, ktorý v sebe zahŕňa niekoľko rojov, je asociovaný s kométou 2P/Encke a viacerými asteroidmi typu Apollo. Komplex bol spočiatku považovaný za medzihviezdny prúd na hyperbolickej dráhe, ale analýza prvých fotografických pozorovaní (Whipple, 1940) ukázala, že sa pohybuje na krátkoperiodickej dráhe. Detailná analýza presných Harvardských fotografických dráh (Wright a Whipple, 1950) potvrdila komplexný charakter aktivity prúdu a odhalila, že pozostáva zo severnej a južnej vetvy. Hlavnú zložku komplexu tvoria jesenné Tauridy, ktoré sú podľa Cooka (1973) aktívne od druhej polovice septembra do konca novembra s maximom odpovedajúcemu 3. novembru pre južnú vetvu a 13. novembru pre severnú vetvu. Celý komplex je aktívny viac ako 3 mesiace v predperihéliovej časti a Whipple (1940) predpokladal, že by sa so Zemou kvôli nízkemu sklonu mal stretávať aj v časti poperihéliovej, pričom poloha radiantu by mala byť situovaná na dennej oblohe. Whiplom predpovedané denné roje komplexu boli potvrdené stotožnením rojov β Tauríd a ζ Perzeíd s južnou, resp., severnou vetvou jesenných Tauríd (Lovell, 1954). Kritická analýza fotografických meteorov,

ktoré boli rôznymi autormi priradené ku komplexu Tauríd ukázala nezvyčajne veľký rozptyl vo všetkých dráhových elementoch (Porubčan a Štohl, 1987a,b), ktorý však do istej miery môže byť ovplyvnený geometriou zrážky meteoroidov so Zemou a rôznymi výberovými efektami. Celý komplex je charakterizovaný zmenou v orientácii dráhy, ktorá predstavuje až 90° v dĺžke a podľa Porubčana a Štohla je tento posun v orientácii dráhy vnútornou charakteristikou komplexu. Poslední autori poukázali na to, že s ekliptikálnou dĺžkou Slnka dochádza v strednej dráhe komplexu ku zmene prakticky vo všetkých dráhových elementoch. Detailná analýza radiantov individuálnych členov komplexu viedla k výsledku, že severná a južná vetva sú zreteľne oddelené a bola zavedená premenlivá stredná dráha pre každú z vetiev samostatne. Polohy geocentrických radiantov Tauríd prechádzajú počas dlhého obdobia aktivity piatimi súhvezdiami a sú zreteľne oddelené na severnú a južnú vetvu počas celej dĺžky aktivity. Radiačné plochy oboch vetiev odvodené z fotografických pozorovaní a redukované na jednotnú dĺžku Slnka sú oválne a pokrývajú plochu $10^\circ \times 15^\circ$ (Štohl a Porubčan, 1992, Porubčan a Kornoš, 2002, Porubčan a kol. 2006). Priradenie ďalších meteorických rojov ku komplexu Tauríd bolo diskutované vo viacerých prácach (napr. Sekanina, 1976, Drummond, 1981, Porubčan a Štohl, 1987a,b, Štohl a Porubčan, 1990 a i.). Analyzované bolo hlavne priradenie Južných Piscíd, Severných a Južných Chí Orioníd, denných Beta Tauríd a i. Porubčan a Štohl (1987b) porovnávali dráhové elementy a polohy redukovaných radiantov na jednotnú dĺžku Slnka a ukázali, že Chí Orionidy sú Tauridy prejavujúce sa na dĺžke Slnka $L_s=258^\circ-259^\circ$ zvýšenou priestorovou hustotou.

Extrémne dlhé obdobie aktivity a komplikovaná vnútorná štruktúra s množstvom lokálnych zhustení poukazujú na zložitú genézu vývoja komplexu Tauríd. Kométa Encke, ktorej dráha leží v blízkosti komplexu s ním evidentne súvisí a od komét Jupiterovej rodiny sa značne líši. Viaceré práce sa venovali problému hľadania dynamických ciest medzi dráhami podobnými kométe Encke a možnými zdrojovými oblasťami malých telies v Slnčnej sústave. Valsecchi a kol. (1995) numerickými integráciami na časovej škále 10^6 rokov ukázali, že existujú dynamické cesty, ktoré sú schopné dopraviť teleso z hlavného pásu do vnútra slnečnej sústavy. Ako najpravdepodobnejšie uvádzajú rezonancie 3/1 s Jupiterom a v_6 , následné odpútanie telesa z rezonančnej dráhy do oblasti komplexu Tauríd je spôsobené poruchovým pôsobením vnútorných planét, hlavne Zeme. Levison a kol. (2006) analyzovali numerické integrácie 11000 modelových častíc rozložených v Kuiperovom pásu a ich analýza poukázala na náročnosť presunu telies z Kuiperovho pásu na dráhu typu kométy 2P/Encke. Steel a Asher (1996) zdôraznili nevyhnutnosť zahrnutia negravitačných efektov, ktoré musia pôsobiť na dostatočne dlhej časovej škále aby došlo k presunu telesa z oblasti komét Jupiterovej rodiny

na dráhu typu 2P/ Encke. Predchádzajúce práce poukázali na dve možné dynamické cesty presunu telesa z dráhy Jupiterovej rodiny komét na dráhu podobnú kométe 2P/Encke. V prvom prípade je za presun telesá zodpovedné pôsobenie terestriálnych planét bez nutnosti pôsobenia negravitačných síl, druhou a efektívnejšou je dostatočne dlhodobé pôsobenie negravitačných síl.

Vo všeobecnosti však panuje názor, že na vytvorení komplexu sa podieľalo viacero objektov, ktoré môžu byť produktom katastrofického rozpadu väčšieho telesa (Whipple a Hamid, 1952, Kresák, 1978, a i.). Clube a Napier (1986) uvažovali o možnom rozpade telesa typu (2060) Chiron pred 20 000–30 000 rokmi. Pri hľadaní potenciálnych materských telies komplexu Tauríd bolo navrhnutých okrem kométy 2P/Encke aj viacero asteroidov, ktoré môžu byť súčasťou komplexu. Použitím rozdielnych prístupov boli najčastejšie diskutované asteroidy (2201) Oljato, (4183) Cuno, (4197) 1982 TA, (6063) Jason, 2004 TG10, 1991 BA a i.

2. Metodika spracovania

V prvok kroku analýzy sme sa venovali výberu individuálnych meteorov z aktuálnych databáz pozorovaní meteorov. Viacerí autori (napr. Porubčan, 1978, Porubčan a Štohl, 1987, a i.) poukázali na veľký rozptyl hodnôt dráhových elementov meteorov komplexu, čo prakticky vylučuje priame použitie Southworthovho – Hawkinsovho kritéria (Southworth a Hawkins, 1963) podobnosti dráh (oproti strednej dráhe komplexu) pre identifikáciu individuálnych členov komplexu. Preto na identifikáciu členov takto širokého komplexu bolo potrebné aplikovať inú metodiku. Takouto možnosťou identifikácie rojových meteorov je hľadanie skupín meteorov ležiacich na podobných dráh v rovnakom období aktivity a na to sme využili iteračnú vyhľadávaciu procedúru, ktorú na hľadanie bolidných meteorických rojov popísali a aplikovali Porubčan a Gavajdová (1994).

Procedúra postupne porovnáva dráhu každého meteoru zo súborom ostatných záznamov a vypočíta k nim hodnotu kritéria D_{SH} . V prvom kroku iterácie je D_{SH} určované voči prvému vstupnému meteoru, pre ktorý sa vyhľadávanie uskutočňuje. Následne pre vybraný súbor dráh spĺňajúcich D_{SH} kritickú hodnotu kritéria je vypočítaná nová stredná dráha, voči ktorej sa celá procedúra zopakuje. Proces pokračuje až dovtedy, kým nie je stredná dráha v dvoch po sebe idúcich iteráciách rovnaká, teda až pokiaľ v poslednom kroku nebol nájdený žiadny nový meteor spĺňajúci stanovenú limitnú hodnotu kritéria.

Aplikáciou iteračnej procedúry na fotografickú databázu IAU MDC, televíznu databázu SonotaCo a Harvardskú radarovú databázu sme identifikovali individuálne meteory a jednotlivé vetvy komplexu z obdobia 15. august – 1. február. Z vybraných individuálnych meteorov sme odvodili dĺžku aktivity komplexu. Pre severnú a južnú vetvu komplexu sme odvodili stredný denný pohyb radiantov meteorov a redukciou na jednotnú dĺžku Slnka určili veľkosť a tvar radiačnej plochy pre fotografickú, televíznu a radarovú metódu. Na základe podobnosti stredných dráh filamentov, orientácie dráhy a obdobia aktivity sme identifikovali odpovedajúce si filamente v jednotlivých databázach a vytvorili vetvy prislúchajúce rojom komplexu. Pre meteory určené z fotografickej a televíznej databázy sme odvodili stredné hmotnosti meteoroidov a analyzovali výšky svietenia meteorov. Podľa určených stredných hmotností meteoroidov sme vypočítali hodnoty negravitačného parametra β , ktorý odpovedá efektívnemu zoslabeniu centrálnej gravitačnej sily následkom tlaku slnečného žiarenia.

V druhej časti analýzy sme porovnávali dráhový vývoj fotografických a televíznych filamentov, ktoré boli priradené k rovnakej vetve na časovej škále 10 000 rokov. Filament sme v numerickej integrácii reprezentovali 24 hmotnými modelovými časticami, ktorých hmotnosť odpovedala strednej hmotnosti meteoroidov fotografickej, resp. televíznej metódy. Častice boli rovnomerne rozložené pozdĺž dráhy filamentu po 15° v strednej anamálií. Na základe podobnosti vývoja sme rozhodovali o reálnosti priradenia filamentov k vetvám komplexu.

Následne sme sa venovali hľadaniu potenciálnych materských telies komplexu a jeho jednotlivých vetiev. Z aktuálnych databáz dráh blízkozemských objektov sme pomocou Southworth – Hawkinsovho kritéria vybrali odpovedajúce asociácie medzi NEO objektami a televíznymi filamentami. Pre tieto vybrané telesá sme pomocou programu DOSMETH (Neslušan a kol., 1998) vypočítali teoretické meteorické radianty. Analýzou dráhového vývoja sme overovali realitu získaných asociácií, pričom filament bol v integrácii definovaný rovnakým spôsobom ako v predchádzajúcej časti analýzy. Pomocou vývoja kritéria D_{SH} , porovnania časového priebehu dráhových elementov, orientácie dráhy a vzdialenosti uzlov dráhy boli vybrané najpravdepodobnejšie potenciálne materské telesá vetiev komplexu Tauríd.

Rovnako sme postupovali pri hľadaní potenciálnych asociácií medzi asteroidmi asociovanými komplexu a kométou 2P/Encke. Pre kométu 2P/Encke sme v rámci dráhového vývoja zahrnuli aj konštatné negravitačné kometárne parametre A_1 a A_2 (Marsden a kol., 1973).

2.1 Databázy

Fotografická metóda pozorovania meteorov je najstaršou záznamovou metódou, ktorá umožňuje dodatočné opakované spracovanie pozorovania. Fotografické pozorovania poskytujú najpresnejšie výsledky, avšak pre nízku limitnú magnitúdu (≈ 0 . magnitúda) okrem špeciálnych Super-Schmidtových komôr je možné zaznamenať iba jasnejšie meteory. Fotografická databáza IAU MDC (Lindblad a kol., 2005) obsahuje dráhové a geofyzikálne parametre 4581 meteorov. Posledná verzia databázy bola doplnená o 211 meteorov a celkový počet meteorov, ktoré sme mali k dispozícii bol 4792 (Porubčan a kol., 2010).

Televízna databáza SonotaCo je výsledkom pozorovaní siete viac ako 100 automatických televíznych kamier rozložených na 35 staniách po Japonsku. Počiatky siete siahajú do roku 2004, kedy bolo vytvorené internetové online fórum používateľov softwaru UFO-capture. Software slúži na zaznamenávanie pohyblivých svetelných úkazov pri televíznom pozorovaní a v kombinácii s programovým balíkom, ktorý obsahuje UFO-analyzer (program slúžiaci pre spracovanie pozorovaní meteorov) a UFO-orbit (program umožňujúci výpočet dráhy telesa v Slnecnej sústave z viacstaničných pozorovaní) predstavuje komplexný program pre pozorovanie meteorov. Štandardné technické vybavenie pozorovacích staníc siete predstavuje vysokocitlivá monochromatická CCD video kamera WATEC-100N (WATEC-902H2U) so širokouhlým objektívom (ohnisková vzdialenosť $f=3,8-12$ mm). Unifikované technické vybavenie pozorovacích staníc, kontinuálne pozorovania (2007–2009) a spracovanie rovnakým softwarom zabezpečuje kompaktnosť a homogenitu dát. V priebehu rokov 2007–2009 bolo získaných celkovo 402 854 kvalitných jednostaničných pozorovaní, v ktorých bolo možné identifikovať 64 650 simultánne pozorovaných viacstaničných meteorov. Aplikáciou prísnejších doplňujúcich kritérií sme vyseletovali 16804 najkvalitnejších dráh, ktoré sme použili pri nasledujúcej analýze.

Katalóg radarových dráh IAU MDC pozostáva zo 62 906 dráh, ktoré pochádzajú z 5 pozorovacích staníc (Adelaide, Harvard, Kharkov, Mogadisho a Obninsk). Pozorovania na týchto staniách boli zamerané hlavne na sledovanie aktivity hlavných rojov. Výnimku tvorí projekt Harvardskej univerzity a Smithsonian Astrophysical Observatories prebiehajúci v 60. rokoch 20. storočia, v rámci ktorého boli pozorovania kontinuálne počas celého roka. Harvard Radio Meteor Project prebiehal v dvoch fázach v rokoch 1961 – 1965 a 1968 – 1969 na šesťstaničnej sieti radarov v Havane. Pozorovania prebiehali v päťdňových intervaloch s nasledovnou deväťdňovou prestávkou (Sekanina, 1970). Výsledkom projektu sú dva katalógy obsahujúce 19327 a 19818 meteorických dráh, teda celkovo 39145 meteorov.

Kontinuita pozorovaní (približne šesťhodinové pozorovania v každý pozorovací deň) bola narušená metódou pozorovaní s niekoľkodňovými pravidelnými prestávkami, čo môže skresľovať výsledky aktivity jednotlivých meteorických rojov.

3. Výsledky dizertačnej práce

3.1 Filamenty komplexu Tauríd

S cieľom vybrať len hlavné, dobre definované centrálné časti filamentov sme v rámci iteračnej vyhľadávacej procedúry zvolili prísnejšie limitné hodnoty kritéria D_{SH} , pre presnejšie fotografické a televízne dráhy $D_{SH} = 0,1$ a pre radarové meteory $D_{SH} = 0,15$. Rovnako sme obmedzili šírku filamentu na $30^\circ (\pm 15^\circ)$ od určenej strednej dráhy) v dĺžke výstupného uzla, aby sme oddelili meteory severnej a južnej vetvy komplexu. V nasledujúcom kroku sme sa zamerali na skupiny meteorov z obdobia 15. august – 1. február, ktoré sme sa snažili stotožniť s rojmi komplexu Tauríd.

Vo fotografickej databáze IAU MDC sme identifikovali 17 filamentov potenciálne asociovaných komplexu Tauríd, ktoré obsahujú 193 meteorov. Najlepšie definovanými filamentami sú hlavne vetvy Južných Piscíd (28 meteorov), Severných Tauríd (36 meteorov) a Južných Tauríd (53 meteorov), ktoré majú viac ako 60%-ný podiel na celkovom počte identifikovaných meteorov komplexu. Aktivita komplexu odvodená z týchto Tauridám dráhovo blízkym filamentom predstavuje viac ako 100° v ekliptikálnej dĺžke Slnka, čo korešponduje s výsledkami získanými v predchádzajúcich prácach (Porubčan a Štohl, 1987a,b, Porubčan a kol., 2006). Predbežnú príslušnosť filamentov ku komplexu Tauríd sme určili na základe podobnosti dráhových elementov. Tento predpoklad o príslušnosti ku komplexu je potrebné potvrdiť ďalšou analýzou, ktorej súčasťou je aj rozbor polôh geocentrických radiantov. Stredný denný pohyb radiantu sme určovali samostatne pre severnú a južnú vetvu použitím spomenutých najpočetnejších filamentov. Získané stredné denné pohyby radiantov sme aplikovali na všetky filamenty a redukovali polohy radiantov na jednotnú ekliptikálnu dĺžku Slnka ($L_s = 220^\circ$). Takto sme získali radiačnú plochu oválneho tvaru s rozlohu $25 \times 15^\circ$.

V televíznej databáze SonotaCo sme identifikovali 23 filamentov dráhovo blízkych komplexu, ktoré obsahujú 903 meteorov. Podobne jako v prípade fotografických dát môžeme najpočetnejšie filamenty stotožniť s hlavnými vetvami Južných Piscíd (122 meteorov), Južných Tauríd (206 meteorov) a Severných Tauríd (270 meteorov). Dobre definované sú aj

dva filamenty, ktoré možno priradiť k Omikrón Orionidám obsahujúce 88 meteorov. Zastúpenie hlavných filamentov Južných Piscíd, Južných a Severných Tauríd ku všetkým meteorom komplexu dobre odpovedá fotografickej databáze a predstavuje viac ako 66%. Severná vetva roja Tauríd je v prípade televíznych meteorov zastúpenejšia ako vetva južná, naproti tomu vo fotografických dátach pozorujeme opačný jav. Odvodené hodnoty stredného denného pohybu radiantu sa len minimálne líšia od vzťahov, ktoré sme získali pre fotografické meteory. Redukciou polôh radiantov na jednotnú dĺžku Slnka sme získali radiačnú plochu, ktorej veľkosť odpovedá ploche $25 \times 15^\circ$. Filament TAU_v1, ktorý obsahuje 5 meteorov pravdepodobne ku komplexu nepatrí, čo potvrdzuje aj poloha redukovaných radiantov, ktoré v rektascenzii ležia $20 - 25^\circ$ od centrálnej časti radiačnej plochy a je reálnejšie pokladať ho za samostatný filament mimo komplexu (Theta Piscidy). Zvyšných 22 filamentov polohami redukovaných radiantov pomerne dobre odpovedá komplexu Tauríd.

V Harvardskej radarovej databáze sme identifikovali 19 filamentov dráhovo blízky komplexu Tauríd, ktoré pozostávajú zo 417 meteorov. Dominantné postavenie hlavných filamentov Južných Piscíd, Južných a Severných Tauríd, ktoré bolo evidentné vo fotografických, resp. televíznych dátach v prípade radarových filamentov nenachádzame, keď tieto filamenty tvorí iba 20 % všetkých meteorov komplexu. Nižšia presnosť spracovania pozorovaní pri radarovej metóde a voľnejšia kritická hodnota D_{SH} vedie aj k väčšiemu rozptylu dráhových elementov meteorov komplexu. Radiačná plocha má rozlohu $35^\circ \times 25^\circ$, je difúznejšia a nepozorujeme zreteľné oddelenú severnú a južnú vetvou.

Použitím iteračnej vyhľadávacej procedúry sme vyseletovali 1502 dráh meteorov (182 fotografických, 903 televíznych a 417 radarových dráh), ktoré najlepšie odpovedajú centrálnym častiam filamentov jesennej časti komplexu Tauríd. Stredná absolútna jasnosť $M = -0,4$ magnitúdy a stredná mimoatmosféricka rýchlosť $v_{inf} = 29,2$ km/s televíznych meteorov odpovedá hmotnosti $\sim 0,7g$ a pri televíznych meteoroidoch a $M = -5$ magnitúd, resp. $v_{inf} = 29,7$ km/s odpovedá hmotnosti fotografických meteoroidov ~ 140 g.

3.2 Potenciálne roje v komplexe Tauríd

Identifikáciou odpovedajúcich si filamentov v jednotlivých databázach sme získali 17 vetiev, ktoré odpovedajú potenciálnym rojom komplexu Tauríd. Kombináciou filamentov získaných zo všetkých troch databáz sme identifikovali sedem potenciálnych vetiev Piscíd, z ktorých päť odpovedá južnej časti a zvyšné dve časti severnej. Tri z týchto vetiev sú

definované iba v televíznych a radarových dátach, vo fotografickej databáze ku nim neboli nájdené odpovedajúce filamenty. Piscidy tvorí 19 filamentov (8 televíznych, 7 radarových a 4 fotografické), ktoré obsahujú 406 meteorov z obdobia september – november.

Vetva tvorená dvomi televíznymi, jedným fotografickým a radarovým filamentom pravdepodobne odpovedá meteorickému roju Beta Arietidy (Porubčan a kol, 2006). Aktivita roja odvodená z televíznych a fotografických pozorovaní predstavuje obdobie od začiatku októbra do 22. októbra a tvoria ich 4 filamenty. Filamenty môžeme rozdeliť na dve dráhovo odpovedajúce si dvojice, ktoré sa od seba líšia hlavne excentricitou dráhy a dĺžkou perihélia. Obdobie aktivity filamentov je 10 – 12 dní, výnimku tvorí radarový filament, ktorého aktivita začína už v druhej polovici septembra a trvá do 9. októbra, čomu odpovedá aj mierne odlišná poloha stredného radiantu. Radianty redukované na jednotnú dĺžku Slnka $L_s=220^\circ$ a transformované do ekliptikálnych súradníc tvoria radiačnú plochu o veľkosti $\sim 10^\circ \times 7^\circ$.

Hlavné vetvy Severných a Južných Tauríd predstavujú dominantné filamenty komplexu vo fotografickej i televíznej databáze. Pri radarových dátach počtom neprevyšujú zvyšné filamenty, takže môžeme predpokladať dominantné zastúpenie hmotnejších častíc v prúde. K prúdu Tauríd bolo priradených 620 meteorov, čo predstavuje viac ako 40% všetkých meteorov komplexu. Tieto meteory tvoria 6 filamentov, ktoré sú aktívne od konca októbra do konca novembra. Skupiny TAU S 01 a TAU N 01 sú definované jedným filamentom z každej databázy, ktorých stredné dráhy majú navzájom veľmi malé hodnoty kritéria D_{SH} . Stredné dráhy filamentov sa mierne líšia excentricitou, ktorá je pri televíznych filamentoch menšia ako pri fotografických a klesajúci charakter excentricity sa zachováva aj smerom k menej hmotným radarovým.

V televíznych dátach boli identifikované 2 filamenty, ktoré pravdepodobne odpovedajú Omikrón Orionidám, obsahujú prekvapivo vysoký počet meteorov – 88 a po hlavných vetvách Tauríd a Južných Piscíd sú v televíznych dátach tretím najlepšie definovaným filamentom. Malý počet meteorov vo fotografických dátach naznačuje, že prúd je pravdepodobne chudobnejší na bolidy, ale má vysoké zastúpenie meteoroidov stredných hmotností (stredná absolútna jasnosť meteorov $M=0,52$ magnitúdy). Polohy redukovaných radiantov skupiny dobre korešpondujú s polohami radiantov pre Južné Chí Orionidy, môžeme teda uvažovať, že predstavujú ich skoršiu vetvu.

Okrajovú oblasť jesennej časti komplexu tvoria tri vetvy, ktorých polohy stredných radiantov ležia v súhvezdí Gemini. Vetva $N \varepsilon GEM 01$ by mohla byť pokračovaním severných Chí Orioníd, hlavne televízne filamenty by si dráhovo mohli odpovedať ($D_{SH}=0,185$).

Celkovo bolo identifikovaných 17 vetiev, ktoré odpovedajú šiestim zhusteniam v prúde komplexu Tauríd a reprezentujú meteorické roje Piscíd, Beta Arietíd, Tauríd, Chí a o Orioníd a ϵ Geminíd. Radianty meteorov odpovedajú pohybu radiantu hlavných vetiev Tauríd, čo dokumentuje ich príslušnosť ku komplexu.

3.3 Potenciálne materské telesá komplexu

Pre vetvy komplexu, sme hľadali potenciálne materské telesá medzi všetkými známymi blízkozemskými asteroidmi a kométami. Za týmto účelom sme využili databázu asteroidov ASTORB.dat, ktorá je spravovaná Edwardom Bowellom (Lowell Observatory), ktorá k 21.3.2011 obsahovala oskulačné dráhové elementy 7843 blízkozemských asteroidov ($q < 1,3$ AU). Pri kométach sme použili databázu z Jet Propulsion Laboratory, ktorá je voľne dostupná na webe (<http://ssd.jpl.nasa.gov/dat/ELEMENTS.COMET>) a ktorá k rovnakému dátumu obsahovala 900 periodických komét ($e < 1$).

Výber potenciálnych asociácií sme robili porovnaním strednej dráhy vybranej vetvy, reprezentovanej dráhou získanou z televíznych pozorovaní, s dráhou NEO objektov pomocou Southworthovho-Hawkinsovho kritéria D_{SH} . V prvom kroku boli pre každú vetvu vybrané telesá spĺňajúce podmienku $D_{SH} \leq 0,30$. Pre tieto NEO objekty sme vypočítali teoretické polohy geocentrických meteorických radiantov a geocentrické rýchlostí (Neslušan a kol., 1998). Následne sme aplikovali doplňujúce podmienky pre rozdiel geocentrických rýchlostí ($\Delta V_g \leq 5$ km/s), dĺžku výstupného uzla ($\Delta \Omega \leq 30^\circ$) a orientáciu dráhy ($\Delta \pi \leq 20^\circ$) medzi strednou dráhou televízneho filamentu a asociovaného telesa. Takto stanoveným podmienkam vyhovuje 67 asteroidov, ktoré s televíznymi filamentami tvoria 131 asociácií. Za najpravdepodobnejšie potenciálne asociácie medzi vetvami, resp. filamentami komplexu Tauríd a objektami NEO odvodené na základe aktuálnej zhodnosti dráh vyjadrenej nízkou hodnotou kritéria $D_{sh} < 0,1$, môžeme asociovať s 9-timi asteroidmi uvedenými v tabuľke 1. V druhom kroku analýzy sme sledovali dráhový vývoj všetkých 67 asteroidov a porovnávali s vývojom dráhových elementov filamentov určených z televíznej databázy, ku ktorým boli asociované. Podobnosť dráhového vývoja asteroidu a filamentu sme opäť vyhodnocovali pomocou priebehu kritéria D_{SH} , pričom filament bol reprezentovaný strednou dráhou získanou z dráhového vývoja modelových častíc.

Tabuľka 1: Potenciálne asociácie TV filamentov Tauríd a asteroidov získané na základe podobnosti súčasných dráh, pre $D_{SH} \leq 0,1$. α_R, δ_R – poloha radiantu, $q, a, e, i, \omega, \Omega$ – dráhové elementy, π – dĺžka perihélia, V_g – geocentrická rýchlosť, T – Tisserandov invariant, $Node_{ASC}$ a $Node_{DESC}$ – vzdialenosti výstupných a zostupných uzlov dráhy od Slnka.

meno	α_R	δ_R	q	a	e	i	ω	Ω	π	D_{SH}	V_g	T	$Node_{ASC}$	$Node_{DESC}$
	[°]	[°]	[AU]	[AU]		[°]	[°]	[°]	[°]		[km/s]		[AU]	[AU]
*TAU_v6	11,4	1,3	0,265	1,647	0,834	4,7	128,4	352,7	121,1		28,98	3,78	1,04	0,33
2010 RV3	11,0	-1,6	0,259	2,177	0,881	8,9	128,4	349,9	118,3	0,097	31,56	3,00	1,08	0,31
*TAU_v8	26,0	14,3	0,430	1,998	0,782	3,2	287,3	200,7	128,0		26,05	3,37	0,63	1,01
2009 SB	25,0	16,1	0,432	2,205	0,804	5,5	268,9	217,8	126,8	0,053	25,98	3,13	0,79	0,77
2007 TC14	30,1	16,9	0,405	2,097	0,807	4,7	272,6	220,9	133,5	0,090	26,49	3,23	0,71	0,76
*TAU_v11	39,1	10,5	0,324	1,735	0,812	5,6	120,5	25,1	145,6		27,72	3,67	1,01	0,42
2007 RU17	44,4	9,1	0,351	2,040	0,828	9,1	129,8	17,5	147,3	0,075	28,29	3,24	1,37	0,42
*TAU_v14	53,3	14,2	0,375	2,024	0,813	5,3	112,7	43,1	155,8		27,30	3,29	1,00	0,52
2003 UV11	50,4	12,9	0,344	1,452	0,763	5,9	124,8	32,0	156,7	0,064	25,66	4,26	1,07	0,42
2010 TU149	48,5	16,2	0,378	2,201	0,828	2,0	91,6	59,8	151,4	0,089	27,64	3,09	0,71	0,68
*TAU_v15	59,1	23,0	0,381	2,026	0,811	2,7	291,9	230,9	162,8		27,10	3,30	0,53	0,99
2004 TG10	54,4	22,5	0,309	2,236	0,862	4,2	317,2	205,3	162,5	0,095	30,08	2,99	0,35	1,57
*TAU_v18	77,1	25,8	0,366	2,128	0,825	3,3	293,0	246,9	179,9		27,98	3,17	0,51	1,00
2002 XM35	81,6	25,8	0,380	2,299	0,835	3,1	313,4	229,3	182,7	0,048	28,12	2,99	0,44	1,63
*TAU_v22	87,2	15,7	0,322	1,978	0,836	9,8	118,6	72,7	191,3		29,42	3,30	0,99	0,43
170502 2003 WM7	87,2	16,6	0,299	2,481	0,880	10,4	143,6	48,7	192,3	0,091	31,49	2,74	1,92	0,33

K najpravdepodobnejším asociáciám môžeme zaradiť asociáciu filamentu TAU_v6 (Piscidy) s asteroidom 2003 QC10, pre ktorý sú hodnoty D_{SH} počas celej doby integrácie v rozmedzí od súčasnej hodnoty 0,147 po 0,23, pričom trend vývoja je počas celých 10 000 rokov mierne rastúci. Orientácia dráh je v súčasnej dobe takmer identická, ale rovnako ako v prípade D_{SH} má počas celej doby integrácie rastúci charakter a na konci sledovaného obdobia je $\Delta\pi \sim 7,5^\circ$. Heliocentrická vzdialenosť vzostupného uzla dráh filamentu a asteroidu 2003 QC10 je počas celých 10 000 rokov menšia ako 1 AU, čo odpovedá možnosti produkcie meteoroidov stretávajúcich sa so Zemou počas tejto doby. Rozdiely aktuálnych hodnôt veľkej polosi, excentricity a perihéliovej vzdialenosti sú pomerne veľké ($\Delta a = 0,274$ AU, $\Delta e = 0,103$, $\Delta q = 0,104$ AU), ale trend vývoja počas integrácie je pri všetkých elementoch podobný.

Asociácia televízneho filamentu Beta Arietíd s dvojicou asteroidov 2009 SB a 2007 TC14 môže byť považovaná za pravdepodobnú, okrem toho vzájomný dráhový vývoj telies je veľmi podobný a hodnota D_{SH} počas 10 000 rokov do minulosti je takmer celé obdobie menšia ako 0,25, čo by mohlo znamenať vzájomný genetický súvis týchto telies. Vývoj hodnôt D_{SH} oproti filamentu TAU_v8 má pre oba asteroidy veľmi podobný charakter, pričom aktuálne veľmi nízke hodnoty v prvej polovici integrácie mierne narastajú (prudší nárast môžeme vidieť pri 2009 SB). V prípade 2007 TC14 sú hodnoty D_{SH} v rozmedzí 0,07 – 0,20 počas obdobia posledných 7000 rokov, pri 2009 SB je táto doba približne o 2000 rokov kratšia a celkový nárast D_{SH} je prudší. Orientácia dráh oboch asteroidov sa od orientácie dráhy filamentu

TAU_v8 v súčasnosti líši minimálne ($\Delta\pi \sim 1,2^\circ$ pre 2009 SB a $\Delta\pi \sim 5,5^\circ$ pre 2007 TC14) a vývoj parametra $\Delta\pi$ do minulosti sa pre oba asteroidy mierne mení.

K hlavnej vetve Južných Piscíd bol asociovaný asteroid 2005 TB15, ktorého dráhový vývoj asteroidu bol silne ovplyvnený tesným priblížením k Venuši ($d_{\text{MIN}} = 0,0003$ AU), ktoré nastalo pred 1500 rokmi a vplyvom tejto udalosti došlo k miernemu poklesu veľkej polosi ($\Delta a = 0,1$ AU) a excentricity telesa. Porovnanie dráhového vývoja veľkej polosi, excentricity i sklonu filamentu s asteroidom 2005 TB15 je veľmi podobného charakteru a navyše orientácia dráhy zostáva počas celého obdobia 10 000 rokov takmer identická, čo len potvrdzuje možnosť vzájomného súvisu filamentu s porovnávaným asteroidom.

Za najpravdepodobnejšiu asociáciu k hlavnému filamentu Južných Tauríd môžeme považovať asteroid 2007 UL12, ktorého aktuálna hodnota $D_{\text{SH}} = 0,106$ počas celej doby mierne narastá a dráhy sú navzájom blízke celých 10 000 rokov (maximálna hodnota $D_{\text{SH}} = 0,22$). Vývoj veľkej polosi a excentricity dobre korešponduje s vývojom modelových častíc filamentu a vzájomná podobnosť vývoja je badateľná rovnako aj pri sklone. Rozdiel dĺžky perihélia počas integrácie len mierne rastie a oproti súčasnej hodnote $\Delta\pi \sim 7^\circ$ predstavuje nárast o 3° .

Asteroid 2004 TG10 bol spájaný s hlavnou vetvou Severných Tauríd už v predchádzajúcich prácach a naše výsledky len potvrdzujú oprávnenosť asociácie medzi filamentom a asteroidom. Vývoj D_{SH} je prvých 3000 rokov integrácie blízky hodnote 0,10 a do minulosti narastá (počas 7000 rokov je $D_{\text{SH}} < 0,20$). Oproti fotografickému filamentu (TAU_f8) je hodnota kritéria asteroidu ešte na nižšej úrovni a počas posledných 7000 rokov je $D_{\text{SH}} < 0,10$. Vývoj dráhových elementov asteroidu je podobný obom filamentom, ale najmä pri sklone je evidentne bližší vývoju fotografického filamentu. Počas obdobia integrácie pozorujeme pri asteroide 2004 TG10 zmenu charakteru vývoja veľkej polosi a excentricity, ktorá je pravdepodobne následkom blízkeho priblíženia telesa k Zemi, ktoré nastalo pred približne 6800 rokmi ($d_{\text{MIN}} = 0,01$ AU). Podobné zmeny vývoja dráhových elementov, ktoré boli spôsobené blížkymi stretnutiami so Zemou, resp. Venušou prekonal počas integračnej doby aj viaceré modelové častice filamentov.

Analýza dráhového vývoja kométy 2P/Encke potvrdila možnú vzájomnú súvislosť medzi kométou a televíznym filamentom Južných Tauríd. Vývoj D_{SH} kométy 2P/Encke oproti filamentu Južných Tauríd poukazuje na veľkú podobnosť dráh v období pred 7000 rokmi až po 3000 rokov do minulosti. Táto podobnosť je vyjadrená nízkymi hodnotami D_{SH} (0,07 – 0,15) a podporuje predpoklad súvisu kométy s komplexom Tauríd. Podobný charakter vývoja D_{SH} môžeme vidieť aj pri hlavnej vetve Južných Piscíd, kde D_{SH} dosahuje nízke hodnoty (0,07

– 0,12) v období pred 2000 až 4000 rokmi. Pri severnej vetve Tauríd nadobúda D_{SH} nízke hodnoty na kratšej časovej škále. Porovnaním dráhového vývoja kométy 2P/Encke s vývojom dráhových elementov asteroidov asociovaných komplexu sme identifikovali 3 asteroidy, ktoré by mohli s kométou súvisieť (2005 UY6, 2005 TF50, 2005 UR).

Na záver sme z dráhového vývoja filamentov komplexu odvodili periódy sekulárneho stáčania priamky apsid. Pre väčšinu filamentov sme získali periódy v rozsahu 50 000 – 70 000 rokov, rozdielom sú hlavne vetvy Piscíd, ktoré majú značne dlhšiu periódu stáčania priamky apsid.

Použitá literatura

- Clube, S.V.M., Napier W.M.: 1986, Giant comets and the Galaxy: Implications of the terrestrial record. In *The Galaxy and the Solar System*, (eds.) R. Smoluchowski, J.N. Bahcall and M.S. Matthews, Univ. Arizona Press, Tucson, 260-295
- Cook, A.F.: 1973, *Evolutionary and physical properties of meteoroids*, (eds.) C.L. Hemenway, P.M. Millman, A.F. Cook, NASA SP-319, 183-191
- Drummond J.D.: 1981, A test of comet and meteor shower associations. *Icarus*, **45**, 545-553
- Klačka, J. a Pittich E.M.: 1998, Origin of the Taurid meteor stream. *Planet. Space. Sci.*, **46**, 881-886
- Kresák, L.: 1978, The Tunguska object: a fragment of comet Encke?. *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, **29**, 129-134
- Levison, H. R., Terrell, D., Wiegert, P. A., Dones, L., Duncan, M. J.: 2006, On the origin of unusual orbit of Comet 2P/Encke, *Icarus*, **182**, 161 – 168.
- Lindblad, B.A., Neslušan, L., Porubčan, V., Svoreň, J.: 2005, IAU Meteor Database of photographic orbit, *Earth, Moon and Planets* **93**, 249-260
- Lovell A.C.B.: 1954, *Meteor Astronomy*, Oxford Univ. Press, Oxford
- Marsden, B. G., Sekanina, Z., Yeomans, D. K.: 1973, Comets and nongravitational forces V., *Astron. J.*, **78**, 211-225
- McIntosh B.A.: 1991, Debris from comets: The evolution of meteor streams. In *Comets in the Post-Halley Era*, (eds.) R.L. Newburn, Jr., M. Neugebauer, J. Rahe, 557-591
- Neslušan, L., Svoreň, J., Porubčan, V., 1998: A computer program for calculation of a theoretical meteor-stream radiant, *Astron. Astrophys.* **331**, 411-413.
- Porubčan V.: 1978, Dispersion of orbital elements within the Geminid and Taurid
- Porubčan V., Štohl J.: 1987a, On orbits and associations of meteor streams with comets P/Halley and P/Encke. In *Diversity and Similarity of Comets*, (eds.) B. Battrock and E. Rolfe, ESA SP-278, 435-440
- Porubčan V., Štohl J.: 1987b, The meteor complex of comet P/Encke. In *Interplanetary Matter*, ERAM 10, (eds.) Z. Ceplecha and P. Pecina, Publ. Astron. Inst. Czechosl. Acad. Sci., Prague, 167-171
- Porubčan, V. a Gavajdová, M., 1994 : Search for fireballs streams among fotografic meteors, *Planet Space Sci.* **42**, 151-155.
- Porubčan V. a Kornoš L.: 2002, The Taurid meteor shower. In: *Asteroids, Comets, Meteors – ACM 2002.*, (ed.) Barbara Warmbein, Noordwijk, Netherlands, 177-180
- Porubčan, V., Kornoš, L., Williams, I. P.: 2006, The Taurid Complex Meteor Showers and asteroids, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, **36**, 103 – 117.
- Porubčan, V., Svoreň, J., Neslušan, L., Schunova, E.: 2010, The updated IAU MDC catalogue of photographic meteor orbits, *Proc Meteoroids 2010*.
- Sekanina, Z.: 1970, *Icarus* **13**, 459 - 474
- Sekanina, Z.: 1973, *Icarus*, **18**, 257
- Sekanina, Z.: 1976, *Icarus*, **27**, 265
- Southworth, R. B. a Hawkins, G. S.: 1963, Statistics Of Meteor Streams, *Smitsonian Contr. Astrophys.*, **7** , 261-285.
- Steel D.I., Asher D.J.: 1996, On the origin of Comet Encke. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **281**, 937-944
- Sykes, M. V., Walker, R. G.: 1992, Cometary Dust Trails I. Survey. *Icarus*, **95**, 180 – 210.
- Štohl J. a Porubčan V.: 1990, Structure of the Taurid meteor complex. In *Asteroids, Comets, Meteors III*, (eds.) C.-I. Lagerkvist, H. Rickman, B.A. Lindblad and M. Lindgren, Reprocentralen HSC, Uppsala, 571-574
- Štohl J., Porubčan V.: 1992, Dynamical aspects of the Taurid meteor complex. In *Chaos*,

- Resonance and Collective Dynamical Phenomena in the Solar System*, (ed.) S. Ferraz-Mello, Kluwer Acad. Publ., Brazil, 315-323
- Valsecchi G.B., Morbidelli A., Gonczi R., Farinella P., Froeschlé Ch., Froeschlé Cl.: 1995, The Dynamics of Objects in Orbits Resembling That of P/Encke. *Icarus*, **118**, 169-180
- Whipple F.L.: 1940, Photographic meteor studies III. The Taurid shower. *Proc. Amer. Phil. Soc.*, **83**, 711-745
- Whipple F.L.: 1950, A comet model. I. The acceleration of Comet Encke. *Astrophys. J.*, **111**, 375-394
- Whipple F.L., Hamid S.E.: 1952, On the origin of the Taurid meteor streams. *Harvard Reprint*, **361**
- Williams, I. P.: 1995, *Earth, Moon, Planets*, **68**, 1
- Wright F.W., Whipple F.L.: 1950, The photographic Taurid meteors. *Tech. Rep. Harvard Coll. Obs.*,

Abstrakt

Our thesis is dealing with the study of the Taurid meteor complex structure and an analysis of meteor observations catalogues, both photographic and radio, coming from Meteor Data Center of the International Astronomical Union, and video observations catalogue SonotaCo, currently the most extensive accessible set of video observations.

Using an iteration searching procedure based on the Southworth-Hawkins orbital similarity criterion 17 photographic, 23 video and 19 radio filaments of the Taurid complex from the activity period 15 August – 1 February were identified. For each observation method the activity period corresponding to 120° in Solar longitude was derived. By analysing the move of geocentric radiant positions of the main Taurid branches depending of the solar longitude, we have derived the mean radiant position mean daily motion. In the next step, we applied these daily motions to derive the complex radiant area reduced to common solar longitude of 220° . We discovered that the size of radiant area increases from photographic to radio data. On the basis of the similarity of mean filament orbits we identified the corresponding filaments in all databases and classified them into 17 branches associated to Taurid complex. These branches represent, after being reduced to common solar longitude, one common and compact radiant what confirms their adherence to complex.

In the second part of this paper we derived the average weights of meteoroids from the photographic and video databases and searched for the potential parent bodies of the branches and the complex. By comparison of video filaments mean orbits with orbits of known NEO objects, we determined their most probable associations. The following analysis of orbital evolution, in which the filament was represented by 24 model particles regularly distributed in its orbit, showed that only 4 from the 67 previously associated asteroids can be considered as reliable. The orbital evolution of the comet 2P/Encke including the constant nongravitational parameters was analysed as well. We showed that the orbital evolution of the comet corresponds to orbital evolution of the Taurid main branches and to the 3 asteroids associated to the complex. Based on orbital evolution of video filaments, we have derived periods of

secular rotation of lane of apsids corresponding to 60 000 years and to the period of 2P/Encke comet and its associated asteroids. Derived secular rotation period of lane of apsid for the Piscid branches shows differences in comparison to other complex Taurid branches.

Zoznam publikovaných prác doktoranda

- ADC01 Porubčan, Vladimír 30% - Zigo, Pavol 20% - Buček, Marek 45% - Cevolani, Giordano 5% - Trivellone, Giuliano 5%: Variation of sporadic meteor background and solar activity
Lit. 19 zázň., 2 obr., 3 tab.
In: European Physical Journal Plus. - Vol. 126, No. 5 (2011), Art. No. 46, s. 1-7
- AED01 Buček, Marek 50 % - Porubčan, Vladimír 50 %: Denné Zeta Perseidy a ich potencialne materské telesá
Lit. 13 zázň.
In: Meteorické správy Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV, Č. 29. - Banská Bystrica : Slovenská astronomická spoločnosť, 2008. - S. 87-94
- AED02 Buček, Marek 50 % - Porubčan, Vladimír 50 %: Severné Piscidy a asteroidy 2007 TC14 a 2009 SB
Lit. 9 zázň.
In: Meteorické správy Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV, Č. 30. - Banská Bystrica : Slovenská astronomická spoločnosť, 2009. - S. 44-51
- AED03 Rozboril, Juraj 34 % - Buček, Marek 33 % - Porubčan, Vladimír 33 %: Zdroje sporadických meteorov a ich súvis s blízkozemskými asteroidmi
Lit. 9 zázň.
In: Meteorické správy Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV, Č. 30. - Banská Bystrica : Slovenská astronomická spoločnosť, 2009. - S. 63-71
- AED04 Schunová, Eva 50 % - Buček, Marek 50 %: Komplexy malých telies slnečnej sústavy
Lit. 26 zázň.
In: Meteorické správy Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV, Č. 30. - Banská Bystrica : Slovenská astronomická spoločnosť, 2009. - S. 52-62
- AED05 Buček, Marek 33 % - Porubčan, Vladimír 34 % - Zigo, Pavol 33 %: Výšky Perzeíd a slnečná aktivita
Lit. 13 zázň.
In: Meteorické správy Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV, Č. 31. - Banská Bystrica : Slovenská