

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky



DIPLOMOVÁ PRÁCE
Hledání předobjevových pozic
transneptunických těles s použitím archivu
teleskopu KLENOT

Miloš Tichý

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Eduard Pittich, DrSc.

Brno 2008

Děkuji RNDr. Eduardovi Pittichovi, DrSc. za podnětné připomínky a cenné rady, které vedly k vylepšení práce.

Za důležité připomínky děkuji doc. RNDr. Zdeňkovi Mikuláškov, CSc.

Děkuji svým kolegům z Observatoře Kleť - Ing. Janě Tiché a Dr. Michalu Kočerovi - za vynikající spolupráci při získávání dat použitých v této práci.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Brně dne 11. května 2008

Miloš Tichý

Abstrakt:

Objevování a určování dráhových elementů transneptunických těles patří mezi významné součásti poznávání sluneční soustavy. Hledání předobjevových pozorování slouží k zpřesnění drah těchto vzdálených objektů sluneční soustavy.

Část nově objevených těles Kuiperova pásu je jasnější než $m_V = 22^m$. Tato tělesa jsou vhodná pro nalezení předobjevových pozorování v archivu Projektu KLENOT Observatoře Kleť. Zorné pole jednotlivých snímků v archivu teleskopu KLENOT není velké (33 x 33 úhlových minut). Tento archiv nebyl doposud pro hledání předobjevových snímků transneptunických těles použit.

V práci jsou představeny jak metody použité pro předobjevové hledání TNOs, tak i systém archivu Projektu KLENOT. Jsou zde prezentovány první zajímavé výsledky tohoto projektu, zejména nalezení předobjevových snímků obřího transneptunického tělesa 2005 FY9 a změření jeho přesných astrometrických pozic, které výsledně vedly k značnému zpřesnění jeho dráhových elementů.

Klíčová slova: transneptunická tělesa, Kuiperův pás, předobjevová pozorování

Abstract:

Discovery and orbital determination of Trans-Neptunian objects (TNOs) is one of the most important part of the Solar System inventory. To locate such images results in the acquisition of new orbital elements which allows to perform more accurate studies of the dynamical evolution of Kuiper Belt.

Several tens of newly discovered Trans-Neptunian Objects are brighter than magnitude $m_V = 22^m$. Although the field of view of the KLENOT images is not so large (33 x 33 arcminutes), this archive was not used for data mining of Trans-Neptunian Objects up to now.

We present here the system of the KLENOT Archive and methods used for this precovery survey. The first successful attempt of this precovery survey was precovery of the big and bright TNO 2005 FY9, its astrometric measurements and finally using for more accurate orbit determination.

Keywords: transneptunian object, Kuiper belt, precovery

Obsah

1	Úvod	6
2	Transneptunická tělesa	8
2.1	Historie výzkumu Kuiperova pásu	8
2.2	Kuiperův pás a jeho členění	10
2.3	Problémy při výzkumu TNOs	13
2.4	Vývoj Kuiperova pásu	13
2.5	Kolik je TNOs?	15
2.6	Současný systém výzkumu malých těles	16
3	Astronomické archivy	18
4	Základní východiska práce	19
5	Projekt KLENOT	20
5.1	mysql databáze Projektu KLENOT	21
6	Malá tělesa sluneční soustavy	25
6.1	Dráhové elementy	25
6.2	Výpočet efemerid	27
6.3	Evoluce dráhových elementů	30
7	Použitá metodika	32
7.1	Technologie	32
7.2	Program PLATES	33
7.3	Seznam testovaných TNOs	33
8	Výsledky	35
8.1	2005 FY9	35

8.2	2003 UZ117	39
8.3	Další tělesa	40
9	Závěr	41
	Literatura	42
A	Program plates	44
B	1996 TL66	63
C	Následná astrometrie TNOs	65

Kapitola 1

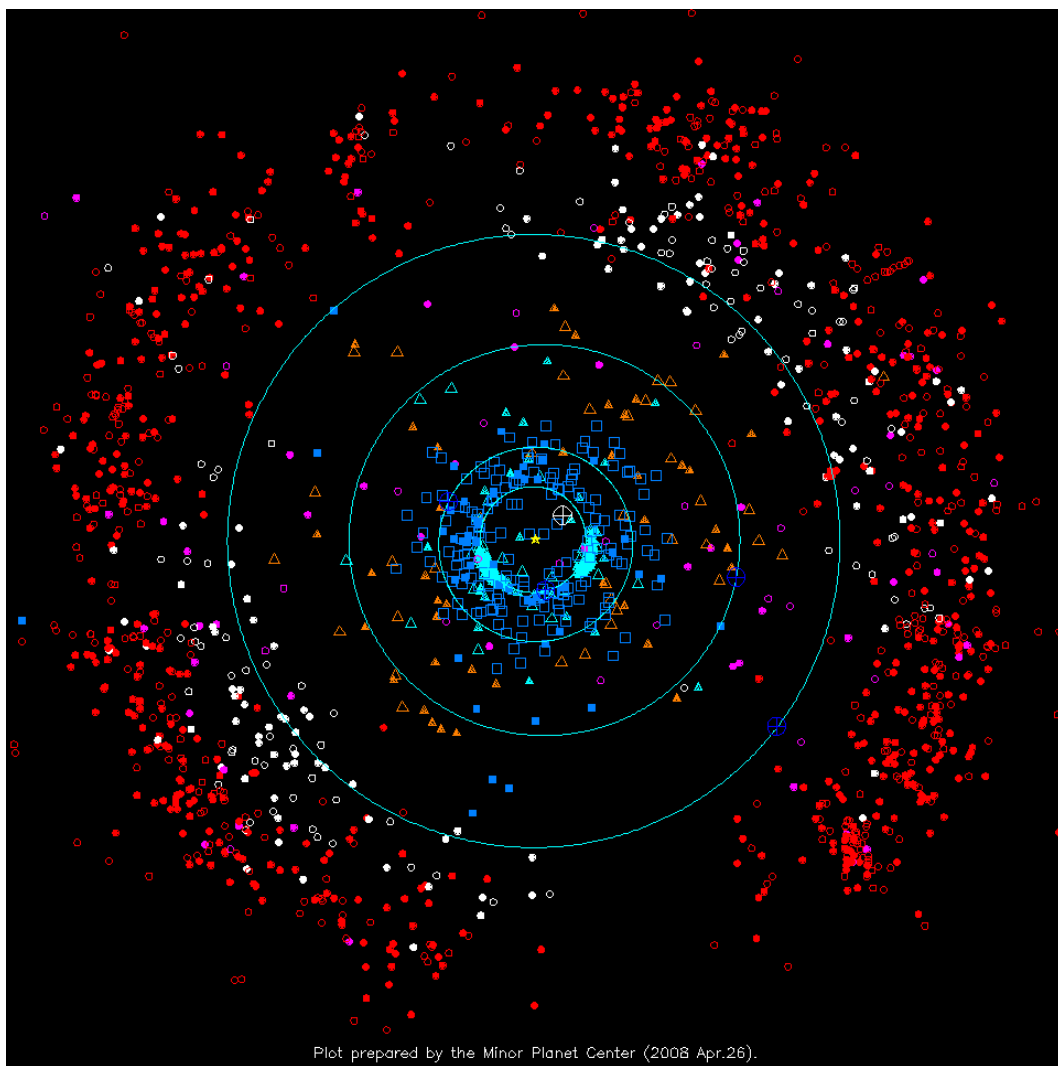
Úvod

Výzkum těles sluneční soustavy za planetou Neptun má poměrně krátkou historii. Ačkoliv první těleso transneptunického pásu - Pluto - bylo objeveno již v roce 1930, nikdo zpočátku nepředpokládal výskyt dalších těles v této oblasti, pochopitelně kromě průletů dlouhoperiodických komet.

V padesátých letech dvacátého století výzkum vzniku sluneční soustavy dospěl ke zjištění, že Pluto v dané oblasti nemusí být samo jako gravitačně dominantní těleso, ale že těles v dané oblasti může být více. Zpřesněním hmotností planet Uran a Neptun na konci osmdesátých let dvacátého století tuto domněnku jen potvrdilo, čímž byla vyvrácena teorie o potřebnosti velké hmotné planety za Neptunem pro dynamickou rovnováhu sluneční soustavy.

Systematické hledání objektů za drahou planety Neptun započalo na konci osmdesátých let dvacátého století, a posléze bylo korunováno úspěchem - objevem druhého transneptunického tělesa v roce 1992 - tělesa 1992 QB1. Dlouhá doba od teorie k nalezení dalších těles v oblasti za Neptunem byla dána jejich malou jasností a pomalým pohybem. Bylo potřeba počkat na citlivé CCD detektory a dostupnost velkých dalekohledů, které umožnily efektivní prohlídku vzdálených oblastí sluneční soustavy.

Práce obsahuje základní informace o transneptunických tělesech, včetně stručné historie jejich výzkumu. Je zde i předložen současný stav výzkumu malých těles sluneční soustavy. V kapitole 3 je věnována pozornost projektu KLENOT včetně jeho historie, cílů a analýzy jeho archivu. Jsou zde shrnuty dráhové elementy těles ve sluneční soustavě a jejich význam, jakožto i výpočet efemerid z těchto dráhových elementů. Opomenuta není ani metodika pro výpočet vývoje dráhových parametrů planetek. V následujících kapitolách je shrnuta použitá technologie a výsledky dané práce.



Obrázek 1.1: Kuiperův pás (*Minor Planet Center*)

Kapitola 2

Transneptunická tělesa

2.1 Historie výzkumu Kuiperova pásu

Výzkum transneptunických těles je v současnosti nejmladší a nejdynamičtější součástí studia sluneční soustavy. První těleso za drahou Neptunu (kromě Pluta původně považovaného za devátou planetu sluneční soustavy) bylo objeveno až na počátku 90.let dvacátého století. Výzkum transneptunických těles je oborem rychle se rozvíjejícím. Říká se, že publikace vydané před pěti lety jsou klasikou oboru a ty starší už jeho historií.

O existenci těles v pásu obepínajícím za drahou Neptunu vnitřní část sluneční soustavy uvažovali astronomové okamžitě po objevu Pluta. V srpnu 1930 se Frederick C. Leonard zmínil o možných dalších malých tělesech za drahami obřích planet i o tom, že Pluto, objevené začátkem roku 1930, může být prvním z mnoha podobných těles [10]. Předpověděl tak existenci pásu transneptunických těles.

Kenneth E. Edgeworth psal o možných tělesech za Plutem v letech 1943 a 1949 [5]. Jeho práce v podstatě zapadly. V roce 1951 Gerard Kuiper ve svém článku navrhl teorii o původu některých komet v bližší oblasti než Oortův oblak [9]. Kuiper však počítal s Plutem jako s velkou a dost hmotnou planetou. Nelíbila se mu však prázdnota vnější části sluneční soustavy za drahou Neptunu. Předpokládal, že v této oblasti už z akrekčního disku kolem Slunce nemohly vzniknout další velké planety, ale právě planetesimály o rozměrech kometárních jader. Na jeho počest se oblast transneptunických těles nazývá Kuiperův pás, někdy bývají zmiňováni oba astronomové v názvu Edgeworthův-Kuiperův pás.

V šedesátých letech se úvahami o ledových tělesech v pásu za drahou

Pluta zabýval Fred L. Whipple, v sedmdesátých letech A. G. W. Cameron. Čestné místo si mezi teoretiky předpovědivšími pás transneptunických těles zaslouží Julio Fernández za svůj článek z roku 1980. Fernández uvažoval o pásu kometárních jader s nízkými sklony drah za drahou Neptunu jakožto zdroji krátkoperiodických komet[6].

Nepočítáme-li Pluto, bylo první transneptunické těleso objeveno až v srpnu 1992. Toto první transneptunické těleso je známé pod předběžným označením 1992 QB1. Na snímcích pořízených 2,2-m teleskopem University of Hawaii na Mauna Kea jej našli David Jewitt a Jane Luu. Tomuto objevu předcházela neúspěšná hledací projekt Luu a Jewitta v roce 1988. Tento pozorovací projekt, využívající už CCD detektor, byl sto zachytit i velmi slabé objekty až do $m_V = 24^m$, ale pokryl jen minimální část oblohy. 1992 QB1 [8] zahájilo éru objevů těles ve vzdálených oblastech sluneční soustavy, která hned v roce 1993 pokračovala dalšími pěti tělesy (1993 FW, 1993 RO, 1993 RP, 1993 SB a 1993 SC) a jejímž výsledkem je doposud 1076 objevených transneptunických těles typů plutino a cubewano a 226 SDO a Kentaurů (stav k 25.dubnu 2008) [19].

Další mezník ve výzkumu transneptunických těles představují objevy obřích těles. V roce 2000 bylo v rámci projektu Spacewatch objeveno těleso 2000 WR106, první TNO, které dosáhlo či dokonce překonalo velikost planety Ceres, největšího člena hlavního pásu planetek mezi Marsem a Jupiterem, a zároveň tak dosáhlo hranice 1000 km v průměru. Dnes udávaný rozměr je 900 ± 140 km. Těleso dne známe pod definitivním označením (20000) Varuna = 2000 WR106.

Samozřejmě nejde o jakousi honbu za rekordy či magickou hru čísel. Z praktického hlediska jsou velká a tedy jasnější tělesa reálně použitelná jak pro astrometrii tak i pro další výzkumy (kolorimetrie, spektra, rotační fotometrie). Nadto bylo zjištěno, že hodně velká TNOs mají vyšší albeda než menší tělesa a to nás povede dál ve zkoumání vzniku a vývoje Kuiperova pásu i potažmo celé naší sluneční soustavy. Transneptunická tělesa by totiž měla obsahovat pozůstatky doposud nepřeměněného materiálu z ranných fází vzniku sluneční soustavy.

Po Varunovi následovala další obří TNOs - Ixion (1065 km), Quaoar (1250 km), Orcus (1600 km), Sedna (1500 km), 2003 EL61 (1200 km) protáhlého tvaru, 2005 FY9 (1250 km) a Eris (2400 km). Většina objevů obřích TNOs připadá na konto speciálního projektu vedeného Mikem Brownem pomocí 1,2-m Oschin Schmidt teleskopu na kalifornském Mt.Palomaru vybavené mimořádně velkým a kvalitním CCD detektorem (kamera QUEST).

Velmi zajímavým objevem Brownova týmu je též Sedna, těleso pohybující se kolem Slunce po velmi protáhlé dráze s přísluním dvakrát dál od Slunce než Pluto. Mnozí autoři proto Sednu nepovažují za transneptunické těleso, ale za první pozorované těleso z vnitřní části Oortova oblaku.

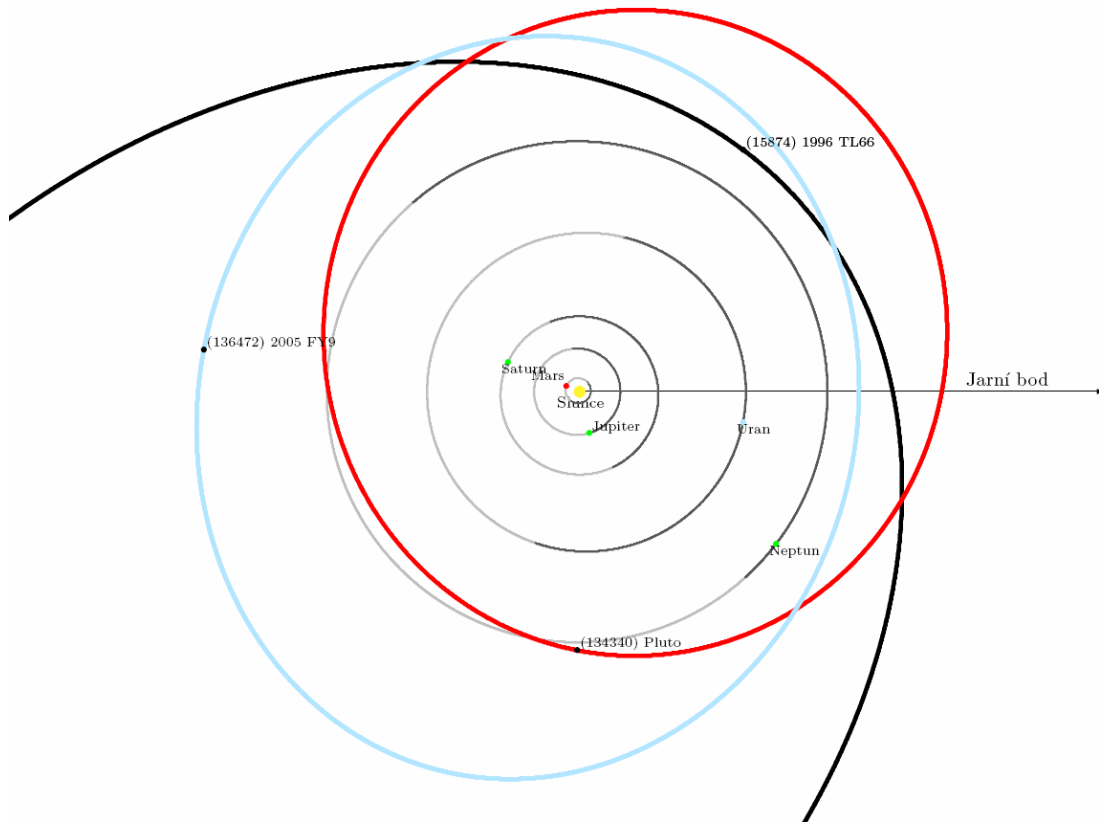
Největší z doposud objevených těles, Eris, známá původně pod předběžným označením 2003 UB313, má větší průměr než Pluto. Její objev a následný výzkum byl poslední kapkou, která přivedla Mezinárodní astronomickou unii k nutnosti řešení otázky "oficiálního" postavení Pluta ve sluneční soustavě, následně k definici planety, vytvoření kategorie trpasličího planet a logické přesunutí Pluta, dosavadní "řádné" deváté planety právě do této nově ustanovené kategorie. Leč toto téma by vydalo na samostatnou práci. [2]

2.2 Kuiperův pás a jeho členění

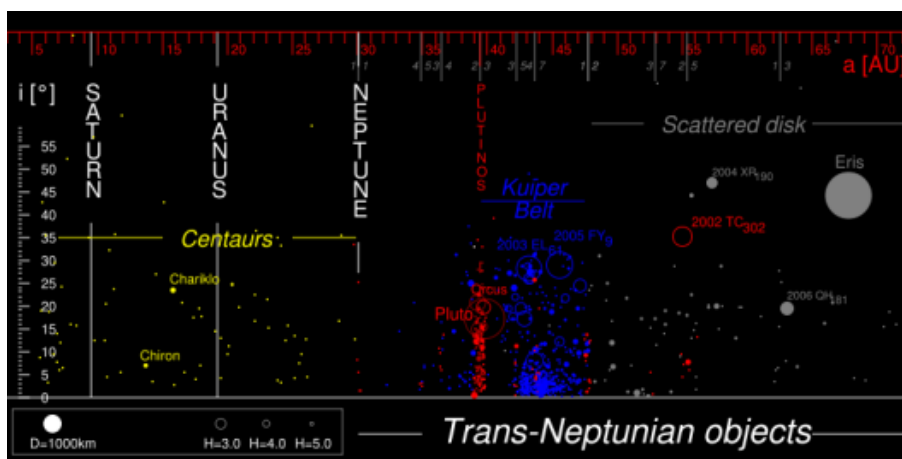
Transneptunická tělesa (TNOs), nazývaná také objekty Kuiperova pásu či Edgeworthova-Kuiperova pásu, jsou tělesa obíhající kolem Slunce za drahou planety Neptun. Jako horní či vnější hranice "klasického" Kuiperova pásu se udává vzdálenost 47 AU od Slunce [20]. Tato hodnota je dána studiem dynamiky vývoje Kuiperova pásu [7]. Jednoduše lze tento pás také definovat tak, že tělesa Kuiperova pásu jsou tělesa za drahou planety Neptun která nepatří do Oortova oblaku.

Objevů transneptunických těles v posledních letech dramaticky přibývá. Za první známé TNO (pomineme-li Pluto) můžeme považovat těleso objevené v srpnu 1992 a známé pod předběžným označením 1992 QB1 [8].

Většina těles Kuiperova pásu se nachází poměrně blízko roviny ekliptiky a tvoří tak víceméně plochý disk. Relativně menší podíl zdejších těles (v porovnání s hlavním pásem planetek mezi Marsem a Jupiterem) má svou dráhu s větším sklonem k rovině ekliptiky. Jde o doposud největší známá tělesa Kuiperova pásu (2005 FY9, 2003 EL61 nebo 2004 DW)[2]. Proto astronomové nazývají tento útvar někdy jako "donut" čili "americká kobliha". Toto relativně neobvyklé zastoupení, neobvyklý tvar Kuiperova pásu dosud objevených těles, je silně ovlivněn výběrovým efektem. Na rozdíl od planetek hlavního pásu či těles blízkozemních, kde existují celooblohové hledací projekty, hledají se transneptunická tělesa doposud jen výběrově na velmi malých úsecích oblohy, kde jsou předpokládány určité dráhové parametry těchto těles [7]. Tento způsob hledání byl použit zejména z důvodu malého množství pozorovacího času na velkých dalekohledech.



Obrázek 2.1: Dráhové typy TNOs - červeně plutina, modře cubewanos (klasické) TNOs, černě SDOs



Obrázek 2.2: struktura Kuiperova pásu (<http://en.wikipedia.org>)

Transneptunická tělesa se obvykle dle dráhových typů dělí do tří základních skupin nazývaných cubewanos, plutinos a SDOs.

První z nich jsou "klasické objekty Kuiperova pásu" nazývané též "cubewanos" podle anglické výslovnosti předběžného označení prvního z nich 1992 QB1. Pohybují se po drahách s malou výstředností, se sklonem do cca 30 stupňů a střední vzdáleností od Slunce v rozmezí 42 a 47 AU.

Druhou velkou skupinou jsou takzvaná "plutinos" nazvaná dle Pluta, které je jejich dráhovým prototypem. Jejich střední vzdálenost od Slunce je 39 AU a pohybují se v rezonanci 3:2 s Neptunem, což je chrání před těsným přiblížením k Neptunu samému a tudíž tento typ dráhy zamezuje možnosti "vyhození" tohoto tělesa právě touto planetou. Pokud má plutino větší excentricitu než přibližně 0,3, může pak dráhu Neptunu i křížovat. Kromě rezonance s Neptunem 3:2, najdeme v Kuiperově pásu také tělesa s dalšími rezonancemi s planetou Neptun, například 3:4, 3:5, 1:2.

Poslední větší dynamickou skupinou jsou tělesa SDO, anglicky scattered-disk objects, čili objekty rozptýleného disku. Jedná se o tělesa s větší výstředností a tudíž s protáhlejšími drahami kolem Slunce. Jako příklad můžeme uvést těleso 1996 TL66 s přísluním 35 AU a odsluním 135 AU od Slunce.

Zbývá část transneptunických těles, nesplňující žádnou z výše uvedených podmínek, je doposud dynamicky nezařazena.

Kapitolou sama pro sebe je těleso (90377) Sedna = 2003 VB12. Předpokládá se, že již nejde o těleso Kuiperova pásu, ale o příslušníka vnitřní části Oortova oblaku. Jeho přísluní se sice nalézá ve vzdálenosti 76,2 AU od

Slunce, ale odsluní tohoto tělesa je 975,6 AU od Slunce. Při velké poloose dráhy $a = 525,9$ AU a excentricitě $e = 0,855$ trvá jeden jeho oběh kolem Slunce přibližně 12 tisíc let[19].

2.3 Problémy při výzkumu TNOs

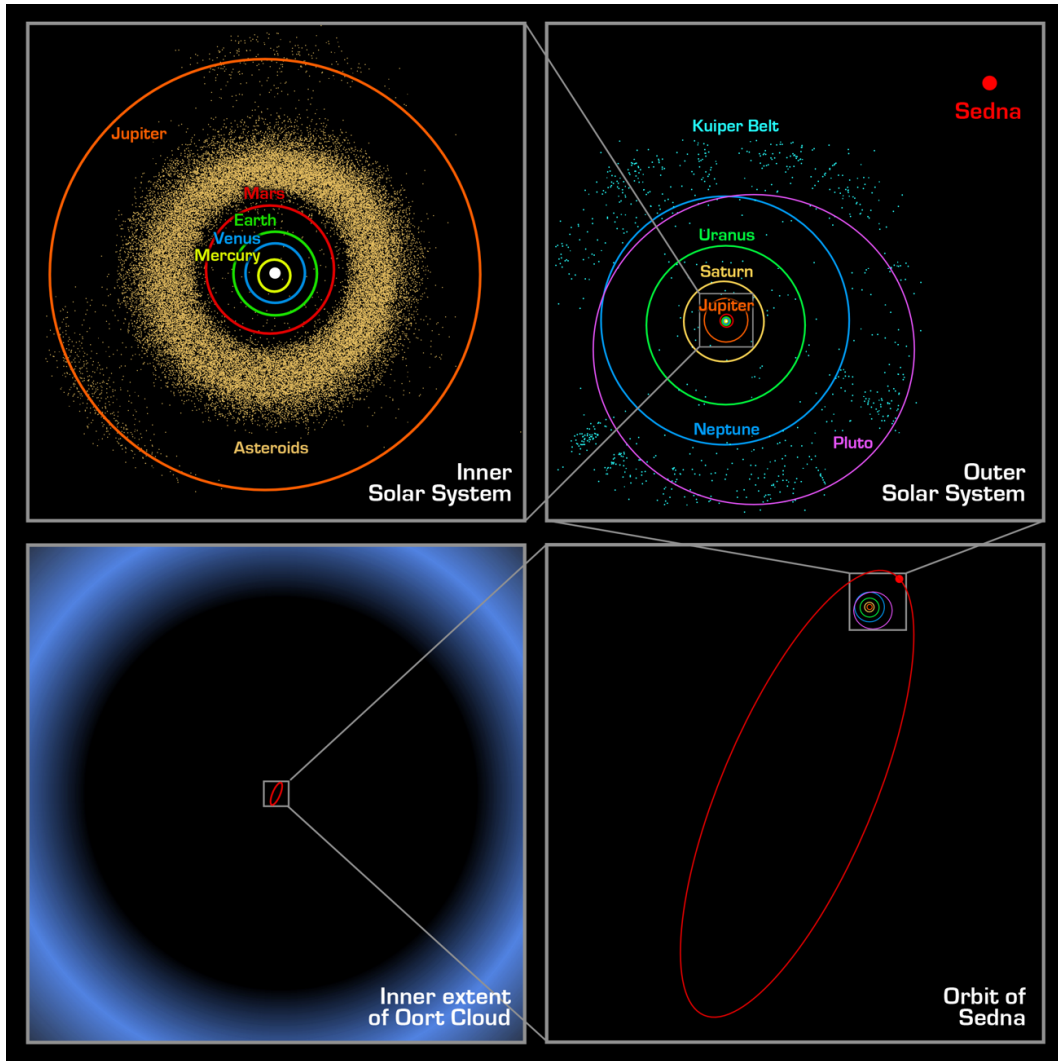
Potíž s TNOs spočívá v tom, že jsou poměrně slabá, jasnost mnohých z nich je hluboko pod $m_V = 20^m$, mnohé kolem $m_V = 24^m$. Jejich sledování vyžaduje použití velkých dalekohledů s průměry kolem 2 metrů a více. Výjimkami jsou jasnější členové Kuiperova pásu, které mají relativní jasnost do 21. magnitudy. Ty se dají astrometricky pozorovat i menšími přístroji s průměrem řádově jeden metr (klešský 0.57-m reflektor, s nímž bylo pozorováno v únoru 1997 právě těleso 1996 TL66, byl v té době nejmenším přístrojem na světě, s jakým byla pořízena přesná astrometrická měření tohoto transneptunického tělesa). Z výše uvedeného vyplývá, že pro mnohé z TNO není dostatek přesných měření pro určení dráhy. Jenom přibližně třetina z dosud známých TNO byla pozorována ve více opozicích. Dráhy mnohých transneptunických těles, pro něž existuje jenom několik málo pozorování v krátkém oblouku dráhy, jsou spočteny pouze přibližně.

Pro transneptunická tělesa je proto důležité jak získávání dalších přesných astrometrických měření směrem do budoucna, tak hledání případných předobjevových pozorování v astronomických archivech směrem do minulosti.

2.4 Vývoj Kuiperova pásu

Počítačové simulace ukazují, že dráhy těles v Kuiperově pásu jsou silně ovlivňovány zejména gravitačními poruchami působenými Neptunem a Jupiterem. V průběhu formování sluneční soustavy se Neptun vlivem gravitačních poruch působených velkým množstvím menších těles ve větších vzdálenostech postupně vzdaloval od Slunce. Nadto si s Uranem vyměnily pořadí ve sluneční soustavě [12].

Při tomto dynamickém gravitačním manévru byla tělesa z oblasti pod přibližně 40 AU vymetena, vyhozena (40 AU je vnitřní hranice oblasti, kterou zaujímají cubewana, obíhající po málo výstředných drahách), s výjimkou drah bližších ke Slunci, které jsou v rezonanci 2:3 s Neptunem. Proto zde nenajdeme tělesa bližší Slunci.



Obrázek 2.3: Dráha planetky Sedna (NASA/JPL-Caltech/R. Hurt SSC-Caltech)

Je předpoklad, že většina těles Kuiperova pásu tak sice vznikla v oblastech, kde se nacházejí i nyní, ale nezanedbatelné množství z nich se mohlo formovat i v blízkosti Jupiteru, odkud pak byla gravitačními poruchami způsobenými velkými planetami vypuzena až za dráhu Neptunu. Poslední teorie – které jsou však podpořeny pozorováními – naznačují, že by naopak těchto vypuzených těles mohla být většina.

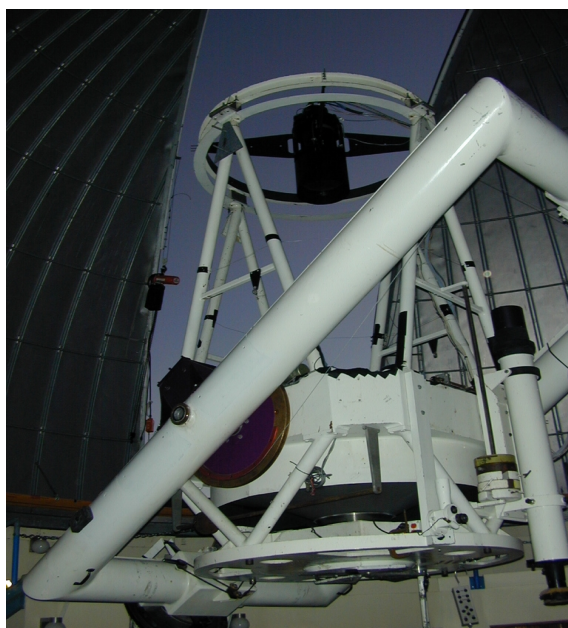
Je též možný i opačný směr, čili dovnitř sluneční soustavy. Gravitační poruchy způsobené Neptunem čas od času vypudí některé těleso z oblasti Kuiperova pásu do vnitřních částí sluneční soustavy, a to se promění v dlouhoperiodickou kometu, případně vlivem Jupitera i v kometu krátkoperiodickou. Jupiter ji ovšem může vyhodit na hyperbolickou dráhu směrem ven z našeho planetárního systému.

Vnější hranice Kuiperova pásu leží přibližně ve vzdálenosti kolem 50 AU od Slunce [20] [7]. V této oblasti přechází do rozptýleného disku, kde tělesa neleží jen v rovině blízké k ekliptice, ale jejich výskyt sahá do větších ekliptikálních šířek, než klasická tělesa Kuiperova pásu (dráhy těchto těles mohou mít značný sklon k ekliptice a je tedy „rozptýlenější“, odtud jeho název) a v němž se pohybují tělesa, souhrnně označovaná zkratkou SDO (z angl. Scattered Disc Objects, tedy tělesa rozptýleného disku). Někteří astronomové však tuto oblast, která sahá až přibližně do vzdálenosti 1000 AU, považují za část Kuiperova pásu a nazývají ji Kuiperův rozptýlený pás a jeho tělesa označují SKBO (z angl. Scattered Kuiper Belt Objects, tedy tělesa rozptýleného Kuiperova pásu).

2.5 Kolik je TNOs?

Na základě optických pozorování se předpokládá, že se v Kuiperově pásu nachází kolem 50 000 objektů větších než 100 km. V současnosti probíhá přehlídka oblohy v rámci projektu Taiwan–America Occultation Survey, která by měla v dohledné době zjistit počet objektů o průměru od 1 km výše v této části sluneční soustavy. Těch může být podle dosavadních odhadů řádově miliarda.

Počet těles byl zkoumán i jinou metodou. Na základě pozorování krátkodobých prudkých poklesů intenzity rentgenového zdroje Scorpius X-1 astronomickou družicí Rossi X-ray Timing Explorer v trvání 1 až 10 milisekund, způsobovaných tělesy Kuiperova pásu, byl počet objektů o průměrech 10 až 100 m odhadnut na 10^{15} [3]. Podle matematických modelů frekvence vzájemných srážek, které je teoreticky rozmělnují, by jich však mělo být mnohem



Obrázek 2.4: 60-ti palcový teleskop Catalina Sky Survey na Mt.Lemmon v Arizoně)

méně, 10^{10} až 10^{12} , a to i přesto, že průměrná vzdálenost dvou těles o průměru 20 m činí pouze asi 200 000 kilometrů, což je v astronomickém měřítku velmi málo. Z diskrepance mezi zjištěným počtem a matematickým modelem vyplývá, že asi bude nutno revidovat naše názory na mechanismus srážek v Kuiperově pásu. Nejnovější poznatky snad budou prezentovány v červenci 2008 na konferenci Asteroid Comets Meteors 2008.

2.6 Současný systém výzkumu malých těles

Většina velkých projektů zaměřených na výzkum malých těles sluneční soustavy (jako například Catalina Sky Survey, LINEAR či LONEOS), tj. planetek a komet, se soustředí na vyhledávání blízkozemních těles.

Tato tělesa se na obloze pohybují rychlostí obvykle v rozsahu od 0,5 do 100 úhlových vteřin za minutu. Všechny přehlídkové planetkové programy jsou přizpůsobeny těmto rychlostem. Rychlost pohybu transneptunických těles je pouhé 0,04 úhlové vteřiny za minutu a menší. Proto není v silách těchto přehlídek, i s ohledem na přesnost astrometrie (0,1-0,3 arcsec) nalé-



Obrázek 2.5: 1.8-m teleskop Spacewatch-II v Arizoně

zat i tělesa v Kuiperově pásu. Nadto při skenování oblohy procházejí danou oblast oblohy pouze jednu noc v lunaci a obvyklý časový rozdíl mezi prvním a posledním skenem činí obvykle cca. 2 hodiny, což je nedostatečný interval na nalezení objektů v Kuiperově pásu. S ohledem na absenci zálohování dat není možné tělesa dohledávat v archivu, protože ten není momentálně reálné vytvářet a udržovat (řádově několi desítek až stovek gigabitů za jednu pozorovací noc). Proto transneptunická tělesa obvykle nalézají specializované hledací programy, které ale mají tu nevýhodu, že prozkoumávají jen poměrně malou část oblohy, obvykle pouze jen několik čtveřecných stupňů, ale s dosahem na mnohem slabší objekty, až k $m_V = 24^m$.

Vlastně jedinou výjimkou mezi projekty zaměřenými na hledání blízkozemních těles je arizonský Spacewatch, jehož tým se zajímá i o Kentaury a jasnější transneptunická tělesa.

Kapitola 3

Astronomické archivy

Prohledávání astronomických archivů za účelem nalezení předobjevových pozorování (tzv. precovery) bylo až doposud doménou astronomů, zabývajících se blízkozemními planetkami, které při svém přiblížení k Zemi jsou mnohem jasnější než vzdálené objekty Kuiperova pásu a tudíž šance na jejich nalezení na starých fotografických deskách je poměrně značná. Bylo to způsobeno tím, že fotografické archivy měly dosah, čili limitní magnitudy, maximálně kolem $m_V = 21^m$, kdežto nalézaná transneptunická tělesa byla minimálně o magnitudu slabší.

Tato skutečnost se ale na přelomu tisíciletí zásadně změnila. Byla totiž nalezena obří transneptunická tělesa jasnější než $m_V = 21^m$, takže hledání předobjevových pozorování TNOs ve starších fotografických archivech se stalo smysluplným.

Jen malá část hledacích programů, používajících CCD technologii (například projekt NEAT v Kalifornii) má archivována napozorovaná data, která byla též občas používána k hledání možných kandidátů na předobjevové snímky těles Kuiperova pásu.

U snímků, pořizovaných na observatořích po celém světě za účelem následné astrometrie nově objevených těles, planetek a komet, je archivace napozorovaných dat věcí více standardní (maximální množství dat během jedné pozorovací noci není tak obrovské jako u skenovacích hledacích projektů; například u projektu KLENOT zaměřeného na následnou astrometrii představuje maximálně 1,2 GB dat/noc) [14]. I s ohledem na kvalitně vedené databáze takovýchto archivů, jsou tyto vhodné pro hledání předobjevových pozorování nově objevovaných transneptunických těles.

Kapitola 4

Základní východiska práce

Observatoř Kleť se převážně zabývá následnou astrometrií blízkozemních planetek a komet. Věnuje se i následné astrometrii těles ve vzdálenějších oblastech sluneční soustavy, tj. Kentaurů a jasnějších transneptunických tělech, a to již před začátkem projektu KLENOT. První astrometrická pozorování transneptunického tělesa byla na Kletci uskutečněna pomocí 0,57-m reflektoru již v dubnu 1997 [dodatek B]. Jednalo se o následnou astrometrii SDO 1996 TL66, která byla publikována v Minor Planet Electronic Circular (MPEC) No. 1997-C12 a následně v článku v [13].

Se začátkem Projektu KLENOT se možnosti ohledně následné astrometrie těles za drahou planety Neptun ještě zvětšily. To je dáno větší limitní magnitudou pořizovaných snímků. Tudíž i množství astrometricky změřených TNOs narostlo [dodatek C].

Postupně narůstal i archiv projektu KLENOT obsahující nyní skoro pět tisíc individuálních polí. Proto se autor této práce rozhodl použít tento kvalitní archiv Projektu KLENOT právě pro hledání předobjevových pozic těles Kuiperova pásu. Šance na nalezení takovýchto pozorování není sice velká, ale bylo by pošetilé tuto možnost nevyužít.

Jde o jeden z celosvětově prvních projektů hledání předobjevových pozorování transneptunických těles v CCD archivu na snímcích pořízených primárně na následnou astrometrii úplně jiných těles, většinou blízkozemních planetek a komet.

Kapitola 5

Projekt KLENOT

Projekt KLENOT je projektem Observatoře Klet', pobočky Hvězdárny a planetária v Českých Budějovicích. Název je anglický akronym. KLENOT = KLEt' Observatory Near Earth and Other unusual objects observations Team and Telescope čili klet'ský dalekohled pro sledování blízkozemních asteroidů a dalších planetek a komet s neobvyklými drahami[14][15].

Teleskop KLENOT má hlavní zrcadlo ze sklokeramiky o průměru 106 centimetrů a světelnosti 1:3. Čtyřčočkový optický korekční člen, sloužící k transformaci výsledného kulového pole do roviny, mění světelnost na 1:2,7, čili výsledný optický systém opticky zkracuje.

Celý optický je osazen CCD kamerou Photometrics Series 300 s čipem SITE 003B o velikosti 1024 x 1024 pixelů s velikostí pixelu 24 mikronů. Kamera je chlazená kapalným dusíkem na pracovní teplotu čipu -90 stupňů Celsia, čímž je minimalizován vlastní šum záznamového zařízení.

Limitní magnituda ve standardních počasových podmínkách při expozici 120 sekund se pohybuje kolem $m_V = 22^m$.

Projekt KLENOT byl započat v roce 1996. Teleskop KLENOT je v provozu od počátku roku 2002, koncem roku 2005 dostal i novou kopuli.

Mezi hlavní cíle Projektu KLENOT patří ověřování a následná astrometrie nově objevených těles v blízkosti Země, zejména zpřesňování drah tzv. Virtuálních impaktorů (Virtuální impaktory jsou blízkozemní planetky, u kterých je nenulová pravděpodobnost na srážku se Zemí v příštích sto letech), znovuvyhledávání blízkozemních planetek (NEOs) ve druhé opozici, následná astrometrie nedostatečně pozorovaných NEOs, následná astrometrie ostatních neobvyklých těles, tj. Kentaurů a těles Kuiperova pásu, a v neposlední řadě ověřování možného kometárního charakteru nově objevených



Obrázek 5.1: Teleskop KLENOT

těles.

Součástí projektu je i kontrola všech pořízených snímků pro nalezení dosud neznámých těles (včetně těles Zemi potenciálně nebezpečných).

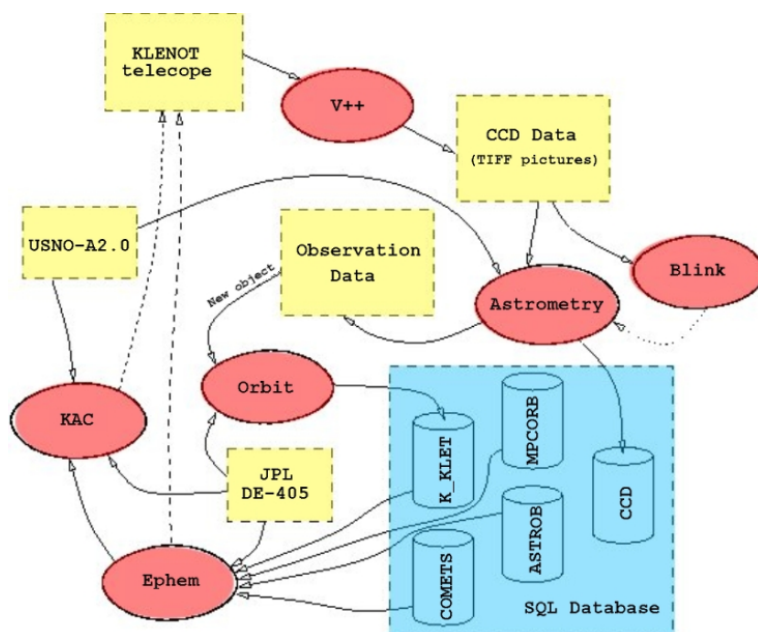
Během roku 2008 se pracuje na nové, plně automatizované montáži, která by měla být dokončena koncem roku 2008. Tato montáž umožní nejen efektivnější sledování hlavního cíle Projektu KLENOT - blízkozemních planetek, ale i též rozšíří možnosti ohledně následné astrometrie transneptunických těles.

5.1 mySQL databáze Projektu KLENOT

Nedílnou součástí projektu KLENOT je i archivace pořízených snímků. Navazuje na existující fotografický archiv Observatoře Kleť a elektronický archiv snímků pořízených 0.57-m reflektorem s CCD kamerami.

Jedním z oddílů *Kleť Software Package (KSP)*, který se na Observatoři Kleť používá k astrometrii a fotometrii planetek a komet, je program *Astrometry*. V tomto programu je zahrnuta i komunikace a automatické ukládání základních informací o zpracovaném snímku do lokální mySQL databáze [14][16].

První položkou této mySQL databáze je *no_cd*, která určuje pořadové číslo CD/DVD v archivu. Následující položka, *night* udávající noc, čili ad-



Obrázek 5.2: Struktura Klet Software Package

resář na CD/DVD, kde se nalézá inkriminovaný snímek. Položka *telescope* sděluje, jaký teleskop byl užít k pořízení daného snímku, a *ccd* která byla použita CCD kamera. V případě teleskopu KLENOT jsou zde hodnoty *KT* jako KLENOT Telescope a *S300* jako CCD kamera Photometrics S300.

Následují informace přímo o snímku. *File* sděluje název souboru, který je zobrazen. S ohledem na skutečnost, že používáme multi-tiff formát (čili v jednom souboru se nalézá několik snímků), další položka *nframes* určuje, kolik snímků je v daném souboru, následována hodnotou *frame*, která říká, o který přesně snímek v daném souboru jde.

Dalších několik řádek udává základní astronomické informace o snímku. Položky *rect* resp. *decl* udávají hodnotu rovníkových souřadnic druhého druhu (tj. rektascenze a deklinace) pro střed snímku, položky *year*, *month* a *UT* čas expozice snímku, a vlastní délka expozice je obsažen v položce *exposition*.

Jako poslední položky jsou hodnoty "technického" rázu. Máme zde uvedeny pozorovatele-pořizovatele snímku v *observer* a případné použití filtru při pořizování snímku v *filter*. Všechny změřené objekty včetně jejich značení (tj. čísla tělesa případně jeho předběžné označení) a kartézských souřadnic *X, Y* na snímku jsou v *xy_objects*. Poslední položka *Note* slouží pro uvedení

poznámek a dalších doplňujících informací o snímku.

no_cd	<input type="text" value="63"/>
night	<input type="text" value="20060505"/>
telescope	<input type="text" value="KT"/>
ccd	<input type="text" value="S300"/>
file	<input type="text" value="K06H57X.tif"/>
nframes	<input type="text" value="6"/>
frame	<input type="text" value="2"/>
rect	<input type="text" value="17.30188"/>
decl	<input type="text" value="-1.2754"/>
year	<input type="text" value="2006"/>
month	<input type="text" value="5"/>
UT	<input type="text" value="6.0312"/>
exposition	<input type="text" value="00:05"/>
observer	<input type="text" value="M+K+Q"/>
filter	<input type="text"/>
<input type="button" value="Proved'"/>	
xy_objects	<input type="text" value="K06H57X (
688,483)"/>

Obrázek 5.3: Struktura databáze snímků teleskopu KLENOT

Kapitola 6

Malá tělesa sluneční soustavy

6.1 Dráhové elementy

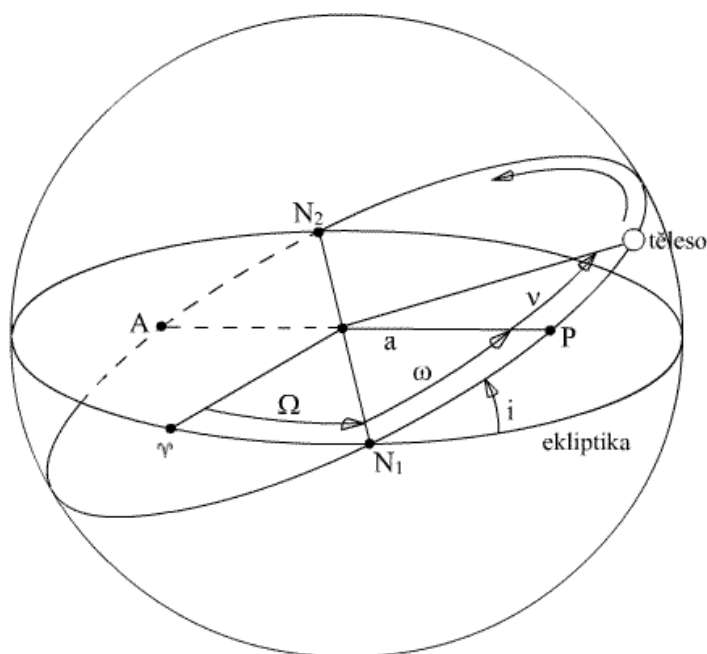
Abychom mohli matematicky popsat dráhu tělesa ve sluneční soustavě, potřebujeme znát šest parametrů, takzvaných dráhových elementů.

První dva z nich popisují velikost a tvar dráhy tělesa. Prvním je *hlavní poloosa* a , což je střední vzdálenost tělesa od Slunce. Druhým parametrem je excentricita. Vzdálenost ohniska od středu dráhy udává *lineární excentricita* ϵ , která poměrem s hlavní poloosou dráhy dává bezrozměrnou *numerickou excentricitu* e .

Další pár dráhových elementů určuje orientaci elipsy čili dráhy v prostoru, a to vzhledem ke dráze Země kolem Slunce, čili vůči ekliptice. Místa, kde dráha tělesa protíná rovinu ekliptiky se nazývají uzly. Každá dráha má dva své uzly, které jsou spojené uzlovou přímkou. První uzel se nazývá výstupní - zde těleso stoupá nad rovinu ekliptiky. Druhý uzel se pak nazývá sestupný. V dráhových elementech nalezneme parametr nazývaný *délka výstupního uzlu* Ω , což je úhel, který svírá výstupní uzel s jarním bodem měřeno matematicky v kladném směru. Druhým parametrem je *sklon dráhy* i , který představuje úhel měřený od roviny ekliptiky k rovině dráhy tělesa. Pokud je tento úhel větší než devadesát stupňů, mluvíme pak o dráze retrográdní (tu mají obvykle pouze některé dlouhoperiodické komety).

Předposledním dráhovým elementem orientujeme dráhu v rovině pomocí přímky apsid, tj. spojnice přísluní a odsluní. Úhel mezi uzlovou přímkou a přímkou apsid se nazývá *argument šířky perihelu* ω . Určuje nám polohu přísluní v rovině dráhy.

Nyní již máme přesně definovanou obecnou dráhu tělesa ve sluneční sou-



Obrázek 6.1: Elementy dráhy

stavě, a tak poslední dráhový element musí zákonitě sloužit k učení polohy tělesa na této dráze. Jde o *čas průchodu přísluním* T . V praxi se toto používá spíše u komet. U planetek je zaveden alternativní parametr, a to *střední anomálie* M . To je úhel, který svírá přímka apsid se spojnicí Slunce a rovnoměrně obíhajícího tělesa. Střední anomálie je vždy určována, stejně jako ostatní dráhové elementy, pro přesný čas, který je označován jako *epocha elementů*, která je obvykle uváděna v Juliánském datu JD, což je počet dní, které uplynuly od poledne světového času od 1. ledna 4713 př. n. l.

Kromě těchto šesti standardních a postačujících dráhových elementů je možné se setkat i s doplňkovými jako jsou například *oběžná doba* P či *střední denní pohyb* n . Obě tyto veličiny můžeme spočítat pomocí předešlých dráhových elementů - stačí nám k tomu velikost hlavní poloosy dráhy.

Na obrázku 4.1 je ještě uveden parametr ν , který představuje *pravou anomálii*, neboli úhel mezi průvodičem tělesa a perihéliem tělesa P .

Neméně důležitým parametrem u dráhových elementů planetek je parametr U , který udává přesnost uváděných dráhových. Počítá se z nepřesnosti určení času průchodu přísluním a nepřesnosti v určení oběžné doby tělesa. Čím je hodnota U menší, tím jsou dráhové elementy tělesa přesnější. U na-

bývá hodnot od 9 do 0 [23].

$$\text{RUNOFF} = (dT e + 10/P dP) ko/P 3600 3, \quad (6.1)$$

kde dT představuje hodnotu nepřesnosti v určení průchodu přísluním ve dnech, e je excentricita tělesa, P jeho oběžná doba v letech a dP je nepřesnost určení oběžné doby ve dnech, ko je Gaussova konstanta ve stupních ($ko = 180 / \pi 0.01720209895$). a RUNOFF je vlastní délková nepřesnost určení polohy tělesa v následující dekádě.

Hodnota RUNOFF se na nepřesnostní parametr U převede dle následujících vzorců:

$$\text{CONS} = \ln(648000)/9, \quad (6.2)$$

$$\text{CONS} \sim 1.49, \quad (6.3)$$

$$U = \text{INT}(\ln(\text{RUNOFF})/\text{CONS}) + 1, \quad (6.4)$$

$$(0 \leq U \leq 9), \quad (6.5)$$

kde INT je funkce, která vrací hodnotu na nejbližší nejnížší celé číslo, čili například $\text{INT}(3.5) = 3$, $\text{INT}(0.99) = 0$, $\text{INT}(-0.45) = -1$ [23].

Hodnota U odpovídá přesnosti určení polohy čili přesnosti určení efemeridy tělesa v následujících deseti letech (v úhlových vteřinách):

U	RUNOFF	U	RUNOFF
0	< 1.0	5	< 1692
1	< 4.4	6	< 7488
2	< 19.6	7	< 33121
3	< 86.5	8	< 146502
4	< 382	9	> 146502

6.2 Výpočet efemerid

Efemeridou se rozumí výpočet polohy tělesa na obloze v daném souřadnicovém systému v zadaný časový okamžik. Pro malá tělesa sluneční soustavy,

planetky a komety, je výpočet efemerid neoddělitelnou součástí přípravy pozorování těchto těles. Bez spočtení kvalitní efemeridy bychom nevěděli, kde se dané těleso na obloze nalézá.

Efemeridu jsme schopni spočítat při znalosti dráhových elementů tělesa (viz. kapitola 6.1 Dráhové elementy).

S ohledem na skutečnost, že zkoumaná tělesa se pohybují ve sluneční soustavě po drahách eliptických, je popisovaná metoda výpočtu efemerid zaměřena pouze na tento typ drah - čili dráhy eliptické. Proto zde nejsou uvedeny výpočty efemerid pro dráhu parabolickou či hyperbolickou[17][21][1].

Prvním krokem je výpočet střední anomálie M pro čas t :

$$M(t) = M_0 + n(t - t_0), \quad (6.6)$$

kde M_0 je hodnota pro čas t_0 .

Dalším krokem je numerické řešení Keplerovy rovnice

$$M = E - e \sin E, \quad (6.7)$$

kde E označuje excentrickou anomálii (tato rovnice nemá totiž řešení analytické ale pouze numerické). Obvyklou metodou řešení této rovnice je metoda iterační, kdy odhadneme přibližnou hodnotu střední anomálie (obvykle se volí $E_0 = M$).

Opět dosadíme do Keplerovy rovnice

$$E_{(i+1)} = M + e \sin E_{(i)}. \quad (6.8)$$

V iteracích pokračujeme tak dlouho, dokud rozdíl posledních dvou hodnot neklesne pod předem stanovenou mez:

$$|E_i - E_{i+1}| < \varepsilon. \quad (6.9)$$

Použité vzorce platí pro E a M v radiánech. Pokud bychom použili E a M ve stupních, měla by Keplerova rovnice tvar:

$$E - (180/p)e \sin E = M. \quad (6.10)$$

Postup při výpočtu je úplně stejný.

Pokud máme spočtenou excentrickou anomálii E , můžeme přistoupit k výpočtu všech ostatních veličin, potřebných pro určení efemeridy tělesa.

Nyní určíme pravoúhlé souřadnice tělesa x, y v rovině dráhy, a to s počátkem souřadnic ve stgředu dráhy (elipsy).

$$x = a (\cos E - e), \quad (6.11)$$

$$y = a \sqrt{(1 - e^2)} \sin E. \quad (6.12)$$

Následuje výpočet heliocentrických souřadnic X, Y, Z tělesa a heliocentrických souřadnic X_z, Y_z a Z_z pro Zemi.

$$X = (\cos \omega \cos \Omega - \sin \omega \sin \Omega \cos i) x - (\sin \omega \cos \Omega + \cos \omega \sin \Omega \cos i) y, \quad (6.13)$$

$$Y = (\cos \omega \sin \Omega + \sin \omega \cos \Omega \cos i) x - (\sin \omega \sin \Omega - \cos \omega \cos \Omega \cos i) y, \quad (6.14)$$

$$Z = \sin \omega \sin i x + \cos \omega \sin i y. \quad (6.15)$$

Nyní spočteme pravoúhlé geocentrické souřadnice tělesa:

$$X_t = X - X_z, \quad (6.16)$$

$$Y_t = Y - Y_z, \quad (6.17)$$

$$Z_t = Z - Z_z. \quad (6.18)$$

Převédeme pravoúhlé rovníkové geocentrické souřadnice tělesa na souřadnice sférické, čímž dostaneme požadovanou polohu na obloze v rovníkových souřadnicích II. druhu:

Pro $x > 0$ máme:

$$\alpha = \arctan \frac{y}{x}. \quad (6.19)$$

Pro $x < 0$ máme:

$$\alpha = \arctan \frac{y}{x} + 180^\circ. \quad (6.20)$$

Pro $x=0$ a $y > 0$ je $\alpha=90^\circ$, pro $x=0$ a $y < 0$ je $\alpha=270^\circ$.

Designation		Arc.		Obs.	U	Type	LastObs.	Ref.	
R.A.	Decl.	"/min	P.A.	Delta		r	Elon.	Phase	mag
K01QT8F	2001 QF298			A2001-2004	O 26	U4 F000e	L20040527	MPO 66200	Plutino
23:50:16	-05°37'49"	0.05"/min	073.0°	43.735AU		42.983AU	041.2W	000.9	21.2mag
K05Up3Q	2005 UQ513			A1990-2007	O 42	U3 F0010	L20071031	MPO130235	Cubewano
00:11:34	+26°44'19"	0.05"/min	055.3°	49.672AU		48.822AU	032.0W	000.6	20.7mag
K03Q90W	2003 QW90			A2002-2005	O 15	U4 F0010	L20050929	MPO 87585	Cubewano
00:23:04	-00°03'05"	0.06"/min	066.3°	44.980AU		44.123AU	031.3W	000.7	21.0mag
(19308) 1996 TO66				A1983-1999	O 106	U3 F0010	L19991129	MPO 6508	Cubewano
00:26:50	+10°55'55"	0.05"/min	060.0°	47.572AU		46.677AU	027.0W	000.6	21.3mag
(55636) 2002 TX300				A1954-2002	O 43	U2 F0010	L20021109	MPO 39866	Cubewano
00:33:34	+26°20'46"	0.06"/min	057.6°	42.253AU		41.361AU	027.3W	000.6	19.6mag
(47171) 1999 TC36				A1974-2005	O 86	U2 F000e	L20050831	MPO131720	Plutino
01:12:37	-01°02'06"	0.09"/min	069.6°	31.722AU		30.789AU	021.7W	000.7	20.0mag
D6199 (136199) Eris				A1954-2006	O 188	U3 F0011	L20060828	MPO103029	Scattered disk
01:38:55	-04°36'53"	0.03"/min	068.6°	97.713AU		96.772AU	020.6W	000.2	18.7mag
(42301) 2001 UR163				A1987-2002	O 27	U2 F0011	L20020208	MPO 28870	Scattered disk
01:40:16	+11°11'49"	0.05"/min	068.8°	51.402AU		50.409AU	009.3W	000.2	21.3mag
(55637) 2002 UX25				A1991-2007	O 56	U3 F0010	L20071103	MPO128639	Cubewano
01:57:30	+09°48'17"	0.07"/min	072.4°	42.922AU		41.922AU	006.1W	000.1	19.9mag

Obrázek 6.2: výpis efemerid z Klet Software Package

$$\delta = \arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \quad (6.21)$$

přičemž pro $x = 0$, $y = 0$, $z > 0$ je $\delta = +90^\circ$, pro $x = 0$, $y = 0$, $z < 0$ je $\delta = -90^\circ$.

Obvykle se pak převedou souřadnice z úhlové míry na hodinovou, neboli $360^\circ = 24$ hodin neboli 1 hodina = 15° . Tímto máme z dráhových elementů spočtenu efemeridu tělesa na požadovaný čas.

6.3 Evoluce dráhových elementů

Důležitým parametrem dráhových elementů planetek je *Epocha*, čili čas, ke kterému byly dráhové elementy tělesa spočteny a pro který jsou úplně přesné (samozřejmě s ohledem na kvalitu vstupních dat).

Dráhové elementy pro výpočet kvalitní a přesné efemeridy malých těles sluneční soustavy, tj. planetek a komet, je třeba mít k dispozici na *Epochu* co nejbližší k času, na který je efemerida požadována. Toto je nejdůležitější

pro výpočet efemerid a hledání předobjevových pozorování blízkozemních těles, tzv. NEO, jejichž dráha je značně ovlivňována gravitačním působením planet, v tomto případě hlavně Jupiteru, Marsu a Zemi.

U transneptunických těles je situace odlišná. Od velkých planet jsou značně vzdáleny, čili gravitační poruchy jimi způsobené jsou minimální.

Nadto, dráhový úsek, který těleso proběhlo za dobu, po kterou vznikl zkoumaný archiv (v tomto případě přibližně šest let), je vůči typickým oběžným dobám těles Kuiperova pásu velmi krátký. Pokud by šlo o těleso blízkozemní, uskutečnilo by takovéto těleso po dobu vzniku tohoto archivu několik celých oběhů kolem Slunce. Gravitační vlivy planet na jeho dráhu by se tak zřetelně projevily. U transneptunických těles za šest let většina z těles proběhne pouze přibližně šedesátinu svého oběhu kolem Slunce, čili výsledný gravitační vliv na dráhu je minimální. Proto není zatím potřeba při prohledávání archivu teleskopu KLENOT na existenci předobjevových pozorování těles Kuiperova pásu počítat vývoj dráhových elementů zkoumaných objektů.

Čili, výpočet vývoje dráhových elementů (např. metodou Runge-Kutta) není v tomto případě nezbytný a lze jej při hledání předobjevových pozorování těles Kuiperova pásu v archivu teleskopu KLENOT s klidným svědomím zanedbat[4].

Kapitola 7

Použitá metodika

7.1 Technologie

Pro hledání předobjevových pozic jasnějších členů Kuiperova pásu byla pro výpočet použita poloautomatická metoda. Nejprve se pomocí vypočtené efermeridy z Klet Software Package [14] vybrala vhodná tělesa - jasnější než $m_V = 21,5^m$ a doposud neočíslovaná. Pro tato tělesa byly nalezeny dráhové elementy v katalogu Minor Planet Center Orbit Database (MPCORB) z Minor Planet Center. Ty byly poté postupně ručně zadávány do programu *PLATES*, který spolupracuje s textovou verzí *PLATES.DAT* katalogu všech snímků pořízených teleskopem KLENOT.

Příklad zadání dráhových elementů pro program *PLATES* - vstupní soubor VSTUP.DAT:

2454600.5D0 - *epocha elementů v JD*

2439917.0D0 - *čas pořízení nejstaršího snímku v databázi KLENOT v JD*

-0.025D0 - *krok výpočtu ve dnech*

'2005FY9 ' - *označení zkoumaného tělesa*

150.86392D0 - *M*

295.25898D0 - *Peri*

79.59693D0 - *Node*

28.99804D0 - *I*

0.1596803D0 - *e*

0.00321296D0 - *n*

45.4847432D0 - *a*

0.3D0 - *absolutní magnituda H*

7.2 Program PLATES

Program *PLATES* [dodatek A] automaticky počítá efemeridu dle zadaných dráhových elementů na čas pořízení snímku a kontroluje, zda se dané těleso nemůže nacházet v zorném poli. Program, za jehož základ složí zdrojový kód pocházející z Jet Propulsion Laboratory (JPL) [11], spolupracuje pro přesný výpočet heliocentrických souřadnic s Dynamic ephemeris DE405, vypočtených a publikovaných v JPL. Základ, vytvořený na JPL obsahoval čtení dat z Dynamic Ephemeris 405 (DE 405). Byl autorem upraven pro účely Observatoře Kleť a doladěn pro použití s archivem teleskopu KLENOT. Základ byl doplněn o čtení dráhových elementů ze souboru *VSTUP.DAT* a o výpočet efemerid na daný čas. S ohledem na předpokládané využití i pro předobjevové hledání blízkozemních těles je zde počítáno i s evolucí dráhových elementů. S ohledem na výkonný počítač tato výpočetní náročnost není problémem [22].

7.3 Seznam testovaných TNOs

Z kompletního seznamu transneptunických těles z databáze Minor Planet Center byla vybrána jen tělesa na opozici jasnější než $m_V = 21.5^m$ a zároveň jen ta, která doposud nebyla očíslována, aby eventuální nalezení předobjevových pozorování mělo reálný význam pro zpřesnění dráhových elementů daného tělesa.

Celkem bylo vybráno 23 těles vhodných pro zkoumání jejich přítomnosti v archivu teleskopu KLENOT, a to 10 těles typu cubewano (classical TNOs), 9 těles typu plutino, 3 tělesa SDOs a 1 nezařazené (Other resonant TNO).

Jedná se o tato tělesa: 2005 UQ513 (cubewano), 2003 QW90 (cubewano), 2003 UZ117 (cubewano), 2005 CA79 (cubewano), 2005 CB79 (cubewano), 2007 HV90 (cubewano), 2002 KW14 (cubewano), 2002 MS4 (cubewano), 2004 NT33 (cubewano), 2005 FY9 (cubewano), 2003 UZ413 (plutino), 2003 WU172 (plutino), 2002 XV93 (plutino), 2003 AZ84 (plutino), 2006 HJ123 (plutino), 2007 JF43 (plutino), 2007 JH43 (plutino), 2001 KD77 (plutino), 2001 QF298 (plutino), 2007 OC10 (Scattered disk), 2004 PG115 (Scattered disk), 2007 UK126 (Scattered disk), 2007 JJ43 (Other resonant TNO)

Dráhové elementy vybraných těles přináší následující tabulka:

značení	H	G	Epocha	M	Peri	Node	I	e	a	obs.arc
K05Up3Q	3.7	0.15	K085E	213.54633	222.39917	307.61913	25.69424	0.1457802	43.3194269	1990-2007
K03Q90W	4.4	0.15	K085E	269.29832	86.03148	17.75561	10.36279	0.0757838	43.8286250	2002-2005
K03Uf3Z	4.3	0.15	K085E	96.89247	145.46118	135.92914	12.04389	0.2252974	39.2038725	1954-2007
K03UB7Z	5.3	0.15	K085E	329.20591	246.56456	204.64480	27.44098	0.1299486	44.0977155	2002-2007
K07UC6K	3.5	0.15	K085E	338.03117	346.69967	131.07984	23.36794	0.4859426	73.0116111	1982-2008
K03WH2U	6.4	0.15	K085E	340.21501	100.76070	10.35927	4.14582	0.2527598	39.0307402	2003-2007
K02X93V	4.9	0.15	K085E	268.10872	166.07356	19.05966	13.27459	0.1247728	39.1839416	1990-2007
K03A84Z	3.9	0.15	K085E	216.49929	15.32370	252.13309	13.59308	0.1821573	39.3602339	1996-2006
K05C79A	5.3	0.15	K085E	5.63788	69.47686	50.23748	11.67173	0.2203694	47.5888002	2001-2008
K05C79B	5.0	0.15	K085E	307.39526	92.71283	112.87749	28.68739	0.1424233	43.2383536	2001-2008
K06HC3J	5.3	0.15	K085E	298.27231	101.41135	222.56131	12.43152	0.3025998	39.6213224	2006-2007
K07J43F	5.2	0.15	K085E	283.13631	121.20742	207.47997	15.06708	0.1853349	39.5832609	2002-2008
K07J43H	4.7	0.15	K085E	171.86284	358.43174	64.61188	18.12230	0.0239035	39.6101605	1994-2008
K07J43J	4.8	0.15	K085E	329.66120	7.22842	272.60179	12.03377	0.1650727	48.3112430	2002-2008
K07H90V	5.2	0.15	K074A	359.96417	147.81275	90.16896	2.84271	0.0850045	45.0700726	1 days
K02K14W	4.6	0.15	K085E	38.84238	123.96444	59.84874	9.74989	0.2054873	46.9959503	2002-2005
K01K77D	5.8	0.15	K085E	24.79342	91.09741	139.16965	2.25103	0.1189365	39.8117356	2001-2005
K02M04S	3.7	0.15	K085E	208.16322	213.60151	216.00629	17.67689	0.1398888	41.9640728	1954-2007
K07010C	5.7	0.15	K0788	12.06494	28.33387	258.13691	21.65318	0.3158338	50.7628882	43 days
K04N33T	5.3	0.15	K085E	29.12590	38.13301	240.91498	31.21404	0.1562085	43.7003672	2004-2006
K04PB5G	5.0	0.15	K085E	2.06363	75.70192	230.38021	16.27588	0.6031840	91.7322806	2002-2007
K01QT8F	4.7	0.15	K085E	140.86774	43.30833	164.16934	22.33561	0.1102756	39.4431580	2001-2004
K05F09Y	-0.3	0.15	K085E	150.86392	295.25898	79.59693	28.99804	0.1596803	45.4847432	1955-2008

Kapitola 8

Výsledky

Z testovaných 23 objektů se při prvním prohledání archivu teleskopu KLENOT ukázalo, že celkem 9 objektů jsou kandidáti na nalezení předobjevových pozorování těchto těles Kuiperova pásu. Z těchto devíti kandidátů byly nalezeny celkem dva objekty, u kterých byly změřeny astrometrické pozice a následně zaslány do Minor Planet Center.

8.1 2005 FY9

V případě tělesa 2005 FY9 byly nalezeny předobjevové pozice z jedné noci - z 20. dubna 2004. Na tomto tělese je názorně ukázáno, jak i jedna předobjevová noc může zkvalitnit dráhové elementy těles Kuiperova pásu[18].

Pomocí software *PLATES* byly nalezeny následující snímky-kandidáti, na kterých by se teoreticky mohly nalézat předobjevové pozice zkoumaného transneptunického tělesa:

2005FY9

CD: 44, night: 20030420, file: PK03E010.tif, nframes: 8

2452750.39490 stred = 12.107 31.530 pozice = 12.125 31.638 Skvele 17.5 mag

2452750.39593 stred = 12.107 31.530 pozice = 12.125 31.638 Skvele 17.5 mag

2452750.39693 stred = 12.107 31.530 pozice = 12.125 31.638 Skvele 17.5 mag

2452750.39814 stred = 12.107 31.530 pozice = 12.125 31.638 Skvele 17.5 mag

2452750.39955 stred = 12.107 31.530 pozice = 12.125 31.638 Skvele 17.5 mag

2452750.40064 stred = 12.107 31.530 pozice = 12.125 31.638 Skvele 17.5 mag

2452750.40213 stred = 12.107 31.530 pozice = 12.125 31.638 Skvele 17.5 mag

2452750.40309 stred = 12.107 31.530 pozice = 12.125 31.638 Skvele 17.5 mag

```

Orbital elements:
2005 FY9
Epoch 2005 Aug. 18.0 TT = JDT 2453600.5
M 213.91871 (2000.0) P MPC Q
n 0.00319661 Peri. 245.84775 +0.70933335 +0.51938413
a 45.6397027 Node 79.41551 -0.32755355 +0.84151339
e 0.1518904 Incl. 28.99834 -0.62414330 +0.14864500
P 308 H 0.1 G 0.15 U 8
Residuals in seconds of arc
030201 644 0.6+ 0.7+ 050331 644 0.0 0.0 050331 644 0.1+ 0.0
030310 644 0.6- 0.8- 050331 644 0.1- 0.0 050405 644 0.2+ 0.1+

```

Obrázek 8.1: prvotní dráhové elementy 2005 FY9

Na snímcích (pořízených primárně za úplně jiným účelem - pro následnou astrometrii komety P/2003 E1 (NEAT)) bylo opravdu dané těleso nalezeno, astrometricky a fotometricky změřeno, a výsledky zaslány do Minor Planet Center, jak ukazuje následující soubor ve standardním formátu pro zasílání astrometrických a fotometrických dat.

```

COD 246
CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
CON 370 01 České Budějovice, South Bohemia, Czech Republic
CON [klet@klet.cz]
OBS M. Tichý, J. Tichá
MEA M. Tichý
TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD
NET USNO-A2.0
TYP TNO
ACK K05-001 (2005 FY9)
K05F09Y C2003 04 20.89490 12 07 00.99 +31 35 15.7 246
K05F09Y C2003 04 20.89955 12 07 00.98 +31 35 15.7 246
K05F09Y C2003 04 20.90213 12 07 00.97 +31 35 15.6 16.7 R 246
K05F09Y C2003 04 20.90309 12 07 00.96 +31 35 15.6 16.8 R 246

```

Výsledně se ukázalo, že původně použitá předobjevová pozorování tohoto tělesa právě z roku 2003 jsou nepřesná (obr. 6.1 - měření z NEAT- kód 644 - vykazují residua od 0,6 do 0,8 arcsec). Užitím pozorování z KLENOTu byla tato původní měření nahrazena měřeními novými (původní výsledně vykazovala hodnoty residuí 6,5 resp 10,0 arcsec, čili byla pro výpočet nové dráhy nepoužitelná). Výsledně zpřesnění dráhových elementů s užitím předobjevových pozorování z teleskopu KLENOT (obr. 6.2. - residua pozorování -

KLENOT - kód 246 - 0,0 resp. 0,1 arcsec) vedlo k nalezení dalších, ještě starších pozorování z roku 2002 a pak i z roku 1999. Ve fotografických archivech poté byla nalezena pozorování z let 1998, 1992 a 1990, a následně i z roku 1955. Čili jedna noc kvalitních astrometrických předobjevových pozorování z teleskopu KLENOT výsledně prodloužila dráhový oblouk z 1 roku na 51 let, což ve skutečnosti představuje kvalitativní skok z hodnoty přesnosti dráhových elementů $U = 8$ na $U = 1$, tj. přesnost efemeridy o sedm řádů.

Výše uvedená předobjevová pozorování nalezená v archivu teleskopu KLENOT vedla výsledně až k očíslování tohoto objektu, který je nyní znám jako (136472) 2005 FY9.

Jedná se o jedno z nejzajímavějších dosud objevených těles Kuiperova pásu. (136472) 2005 FY9, objevené týmem Mika Browna na Mt. Palomaru, je jedno z nejjasnějších a s průměrem cca. 1600 kilometrů jedno z největších známých transneptunických těles. Po Plutu a Eris jeden z nejvážnějších kandidátů na statut trpasličí planety [19].

2005 FY9

[Display all designations for this object](#)

Epoch 2006 Mar. 6.0 TT = JDT 2453800.5 MPC

M 147.09781 (2000.0) P Q

n 0.00318939 Peri. 296.41065 +0.85100334 -0.22021964

a 45.7085415 Node 79.55494 +0.44375077 +0.78704183

e 0.1550096 Incl. 28.99870 -0.28085327 +0.57625383

P 309 H -0.4 G 0.15 U 1

From 90 observations at 9 oppositions, 1955-2006, mean residual 0".23.

Residuals

19550129	675	0.0	0.2-	20050808	204	0.1+	0.2+	20060225	A74	0.0	0.2+
19900319	675	0.1-	0.0	20050830	147	0.1+	0.5-	20060225	A74	0.2-	0.1+
19920204	675	0.2-	0.1+	20051210	147	0.1+	0.0	20060225	A74	0.1-	0.2+
19980501	675	0.2+	0.0	20060116	046	0.4+	0.0	20060225	A74	0.2-	0.1+
19990219	566	0.1+	0.2+	20060116	046	0.1+	0.3-	20060225	A74	0.1-	0.1+
19990219	566	0.1+	0.1+	20060116	046	0.2+	0.3-	20060225	A74	0.1-	0.0
19990219	566	0.0	0.0	20060122	H89	0.1-	0.3-	20060225	A74	0.2-	0.0
20020409	644	0.1-	0.2+	20060122	H89	0.0	0.3+	20060225	A74	0.2-	0.1+
20020409	644	0.0	0.2+	20060122	H89	0.2+	0.5+	20060225	A74	0.2-	0.0
20020420	644	0.1+	0.1+	20060131	A74	0.1-	0.2+	20060225	A74	0.2-	0.0
20020420	644	0.1+	0.2+	20060131	A74	0.4+	0.5-	20060225	A74	0.1-	0.0
20020420	644	0.1+	0.1+	20060131	A74	0.5-	0.3-	20060225	A74	0.2-	0.1+
20030201	644	0.2+	0.1+	20060131	A74	0.2+	0.2+	20060225	A74	0.2-	0.1-
20030201	644	0.1+	0.1+	20060131	A74	0.3+	0.2-	20060225	A74	0.3-	0.1+
20030201	644	0.2+	0.1+	20060131	A74	0.4-	0.2+	20060225	A74	0.3-	0.1+
20030310	644	0.2+	0.0	20060131	A74	0.1-	0.3+	20060225	A74	0.3-	0.1+
20030310	644	0.2+	0.0	20060131	A74	0.2+	0.1+	20060225	A74	0.3-	0.1-
20030310	644	0.1+	0.2+	20060131	A74	0.2-	0.6-	20060225	A74	0.2-	0.1+
20030420	246	0.0	0.1+	20060131	A74	0.5+	0.1-	20060225	A74	0.1-	0.2+
20030420	246	0.1+	0.1+	20060131	A74	0.3-	0.5+	20060306	203	0.2-	0.2+
20030420	246	0.1+	0.0	20060131	A74	0.2+	0.2-	20060319	215	0.3+	0.3-
20030420	246	0.0	0.0	20060131	A74	0.2+	0.5-	20060319	215	0.0	0.2+
20050331	644	0.2+	0.0	20060131	A74	0.2-	0.1+	20060319	215	0.1+	0.2-
20050331	644	0.1+	0.0	20060131	A74	0.1+	0.1-	20060321	A65	0.5+	0.3+
20050331	644	0.3+	0.0	20060131	A74	0.3+	0.2-	20060321	A65	0.4+	0.1+
20050405	644	0.4-	0.3+	20060131	A74	0.1+	0.3-	20060322	A80	0.1-	0.0
20050729	147	0.1+	0.1+	20060131	A74	0.4+	0.5-	20060322	A80	0.1+	0.1-
20050731	130	0.5-	0.9+	20060225	A74	0.1-	0.1+	20060322	A80	0.1+	0.2-
20050803	130	0.3+	0.7-	20060225	A74	0.1-	0.0	20060323	854	0.1-	0.5+
20050805	147	0.4+	0.2-	20060225	A74	0.2-	0.0	20060323	854	0.1+	0.2+

Obrázek 8.2: dráhové elementy 2005 FY9 s užitím předobjevových pozic teleskopu KLENOT včetně následně nalezených dalších předobjevových pozorování až do roku 1955

8.2 2003 UZ117

Systém našel na archivních snímcích transpontonické těleso 2003 UZ117. Dodatečně byly zjištěno, že přesná astrometrická měření tohoto tělesa byla již do Minor Planet Center zaslána a již byla použita pro zpřesnění dráhy tohoto objektu, jak ukazuje následující standardní formát zaslání astrometrických dat a přiložené dráhové elementy včetně residuí (kód projektu KLENOT je 246), neboť šlo o snímky primárně pořízené právě k následné astrometrii tohoto tělesa:

```

COD 246
CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátckovo nábřeží 4,
CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic
CON [klet@klet.cz]
OBS J. Tichá, M. Tichý, M. Kočer
MEA M. Tichý
TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD
NET USNO-A2.0
TYP TNO
ACK K04-S33 (2003 UZ117)
K03UB7Z C2004 09 18.98371 03 01 33.19 +06 52 59.8      246
K03UB7Z C2004 09 18.99727 03 01 33.18 +06 53 00.1      246
K03UB7Z C2004 09 19.00615 03 01 33.14 +06 53 00.9      246
K03UB7Z C2004 09 19.01761 03 01 33.06 +06 53 00.9      246
K03UB7Z C2004 09 19.02229 03 01 33.08 +06 52 59.5      246
K03UB7Z C2004 09 19.02332 03 01 33.05 +06 52 59.3      246

```

2003 UZ117

```

Epoch 2008 May 14.0 TT = JDT 2454600.5      MPC
M 329.20591      (2000.0)      P      Q
n 0.00336574      Peri. 246.56456      +0.02194148      -0.98111747
a 44.0977155      Node 204.64480      +0.99937920      +0.01622477
e 0.1299486      Incl. 27.44098      -0.02756418      -0.19273105
P 293      H 5.3      G 0.15      U 4
From 33 observations at 5 oppositions, 2002-2007, mean residual 0".58.

```

Residuals

```

20021113 644 0.2+ 0.8- 20031122 695 0.1+ 0.1- 20041212 290 0.6+ 0.0
20021113 644 0.4- 0.4- 20031122 290 0.2+ 0.0 20041212 290 0.5+ 0.2+
20021113 644 1.3- 0.6+ 20040918 540 0.6+ 0.2+ 20061220 408 0.4- 1.2-
20031024 691 0.2+ 0.5- 20040918 540 0.4- 0.4- 20061220 408 0.4+ 1.0-
20031024 691 0.1+ 0.2- 20040918 540 0.6+ 0.2+ 20061223 408 1.0- 1.6+
20031024 691 0.4+ 0.0 20040918 246 0.4- 1.0- 20070814 300 0.1- 0.4-
20031102 291 0.3+ 1.1- 20040918 246 0.0 0.2- 20070821 300 0.2- 0.1+
20031102 291 0.2+ 0.9+ 20040919 246 0.2- 0.8+ 20070821 300 0.1+ 0.8+

```

20031102	291	0.6-	1.1+	20040919	246	0.9-	1.2+	20070917	300	0.5+	0.6+
20031122	695	0.2+	0.2-	20040919	246	0.4-	0.1-	20070917	300	0.1-	0.6-
20031122	290	0.2+	0.1-	20040919	246	0.8-	0.2-	20070919	300	0.4+	0.3-

Nalezení tohoto tělesa však ukazuje funkčnost použité metody.

8.3 Další tělesa

Pomocí programu *PLATES* byla nalezena ještě pole s dalšími třemi objekty, kandidáty na předobjevová pozorování. Naneštěstí ve dvou případech zamezila nalezení objektu velmi hustá oblast Mléčné dráhy, ve třetím případě byla na originálním snímku jasná kometa na kterou byly použity expozice pouhých 10 vteřin, což značně snížilo limitní magnitudu daných snímků a znemožnilo tak detekci výrazně slabšího objektu Kuiperova pásu.

Kapitola 9

Závěr

Celkem bylo v archivu teleskopu KLENOT prozkoumáno 36 339 snímků 5490 různých polí. S ohledem na dosud malý rozsah archivu i plošnou velikost jednotlivých polí - jedno pole má rozlohu pouhého 0,3 úhlového stupně - je nakonec s podivem, že byl nalezen alespoň jeden pozitivní výsledek (výpočetně dva) - 2005 FY9, který vedl k zpřesnění dráhy tělesa v Kuiperově pásu.

Tato metoda, stejně jakožto i rozšiřující se archiv projektu KLENOT bude neustále nabývat na významu, a to i s ohledem na připravované projekty celooblohových přehlídek jako je například Pan-STARRS. Poté bude hledání předobjevových pozorování TNO mít ještě větší význam než doposud a nelze jej ve výzkumu vzdálených oblastí sluneční soustavy opomenout.

Následujícím krokem bude vytvoření programu pro načítání jednotlivých snímků na sebe za účelem zvýšení dosahu - limitní magnitudy - jednotlivých hvězdných polí. Je předpoklad, že pomocí kvalitního načítání by se jasnost nejslabších detekovatelných těles v rámci Projektu KLENOT Observatoře Kleť měla pohybovat kolem $m_V = 23^m$

Je poměrně nešťastné, že dva výsledky byly znehodnoceny hustou Mléčnou dráhou, a třetí krátkými expozicemi pro astrometii jasné komety.

Kromě načítání snímků je ve výhledu i plně automatizovaný systém detekce předobjevových pozorování, a to jak pro objekty Kuiperova pásu tak i pro tělesa blízkozemní a komety. Spuštění tohoto systému se na Observatoři Kleť předpokládá během dvou následujících let.

Literatura

- [1] Andrlé, P.: *Základy nebeské mechaniky*, Academia, Praha, 1971.
- [2] Brown, M. E.: *The Dwarf Planets of the Outer Solar System*, 2007 AAS/AAPT Joint Meeting, American Astronomical Society Meeting 209, 2007
- [3] Chang, Hsiang-Kuang; Liang, Jau-Shian; Liu, Chih-Yuan; King, Sun-Kun: *Millisecond dips in the RXTE/PCA light curve of Sco X-1 and trans-Neptunian object occultation*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 378, Issue 4, pp. 1287-1297, 2007
- [4] Dubiago, A. D.: *Opredelenie orbit*. Gostekhizdat, Moskva–Leningrad, 1949
- [5] Edgeworth, K. E.: *The origin and evolution of the Solar System*, Mon. Not. R. Astron. Soc., vol. 109, p. 600-609 (1949).
- [6] Fernández, J.A.: *On the existence of a comet belt beyond Neptune*, Royal Astronomical Society, Monthly Notices, vol. 192, Aug. 1980, p. 481-491.
- [7] Gomes, R. S.: *Dynamical structure and origin of the Trans-Neptunian population*, Asteroids, Comets, Meteors, Proceedings of the 229th Symposium of the International Astronomical Union held in Búzios, Rio de Janeiro, Brasil August 7-12, 2005, Edited by Daniela, L.; Sylvio Ferraz, M.; Angel, F. Julio Cambridge: Cambridge University Press, 2006., pp.191-205
- [8] Jewitt, D. C., and Luu, J. X., *Discovery of the Candidate Kuiper Belt Object 1992 QB1*. Nature, 362, 730-732, 1993
- [9] Kuiper, G.P.: *On the Origin of the Solar System*, Proceedings of a topical symposium, commemorating the 50th anniversary of the Yerkes

- Observatory and half a century of progress in astrophysics, New York: McGraw-Hill, 1951, edited by Hynek, J.A., p.357
- [10] Leonard, F. C.: *The New Planet Pluto*, Astronomical Society of the Pacific Leaflets, 1930, Vol. 1, p.121
- [11] Standish, E. M. : JPL PLANETARY AND LUNAR EPHEMERIDES (JPL website)
- [12] Thommes, E. W.; Duncan, M. J.; Levison, H. F.: *The Formation of Uranus and Neptune among Jupiter and Saturn*, The Astronomical Journal, Volume 123, Issue 5, pp. 2862-2883, 2002
- [13] Tichá, J., Tichý, M., and Moravec, Z.: *Astrometry of Outer Solar System Bodies – Experience with Small Telescope and Future Plans*, In *Minor Bodies in the Outer Solar System* (A. Fitzsimmons, D. Jewitt, R. M. West, Eds.), pp. 165-167, Springer, 2000.
- [14] Tichá, J., Tichý, M., Kočer, M.: *KLENOT - KLEŤ OBSERVATORY NEAR EARTH AND OTHER UNUSUAL OBJECTS OBSERVATIONS TEAM AND TELESCOPE*, Proceedings of ACM 2002, Berlin,(ESA-SP-500), November 2002, pp.793-796
- [15] Tichý, M.: *Analýza kometárních charakteristik nově objevených těles ve sluneční soustavě*, bakalářská práce, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno 2006.
- [16] Tichý, M., Tichá, J., Kočer, M., Honková, M.: *TNO PRECOVERY SURVEY USING THE KLENOT TELESCOPE ARCHIVE*, conference ACM 2008, July 2008, JHUAPL, Baltimore, USA (submitted)
- [17] Vanýsek, V.: *Základy astronomie a astrofyziky*, Academia, Praha, 1980.
- [18] Williams, G.V.: Personal communication, 2006
- [19] M.Brown website - <http://www.gps.caltech.edu/~mbrown/>
- [20] D. Jewitt website - <http://www.ifa.hawaii.edu/~jewitt/HomeSite/>
- [21] <http://nebmech.astronomy.cz>
- [22] <http://ssd.jpl.nasa.gov/>
- [23] <http://www.cfa.harvard.edu/iau/mpc.html>

Dodatek A

Program plates

Základ programu *PLATES* pochází z JPL a je určen na čtení dat z Dynamic Ephemeris DE405. Byl doplněn o čtení vstupních dráhových elementů těles, souřadnic a časů jednotlivých snímků z archivu projektu KLENOT, a doplněn o výpočty efemerid na daný čas.

```
PROGRAM PLATES

INTEGER J

DOUBLE PRECISION epoch0,epoch1,t,h,h2,h6,h22,h26,h28
DOUBLE PRECISION pomx,pomy,pomz,p,anom
DOUBLE PRECISION EE,V,r,Gauss,Gauss2,pi
DOUBLE PRECISION MO,Peri,Node,I,e,n,a,G,HH
DOUBLE PRECISION x,y,z,vx,vy,vz,x1,y1,z1
DOUBLE PRECISION kx1,kx2,kx3,kx4,ky1,ky2,ky3,ky4,kz1,kz2,kz3,kz4
DOUBLE PRECISION RA,DE,JD,DRA,DDE,UV
DOUBLE PRECISION pv(6),XS,YS,ZS
DOUBLE PRECISION rox,roy,roz,pom,rect,decl,delta,fi1,fi2
DOUBLE PRECISION Beta,magnituda

DOUBLE PRECISION xp(9),yp(9),zp(9)
DOUBLE PRECISION GM(9)

COMMON /HMOTY/ GM

CHARACTER*2 teleskop
CHARACTER*4 deska
CHARACTER*6 Kvalita
CHARACTER*8 Objekt

LOGICAL Konec,inside,Zapsat,Elementy

PARAMETER ( pi = 3.14159265358979D0 )
PARAMETER ( Gauss = 0.01720209895D0 )
PARAMETER ( Gauss2 = Gauss*Gauss )
```



```

DATA (GM(J), J=1,9) /.4912547451450812D-10,
* .7243452486162703D-09,
* .8997011374291877D-09,
* .9549535105779258D-10,
* .2825345909524226D-06,
* .8459715185680659D-07,
* .1292024916781969D-07,
* .1524358900784276D-07,
* .2188699765425970D-11/

OPEN(6,FILE='vstup.dat',ACCESS='SEQUENTIAL',STATUS='OLD')
OPEN(7,FILE='plates.dat',ACCESS='SEQUENTIAL',STATUS='OLD')
OPEN(8,FILE='vysl.dat',ACCESS='APPEND',STATUS='OLD')

READ(6,*) epoch0
READ(6,*) epoch1
READ(6,*) h

READ(6,*) Objekt
READ(6,*) M0
READ(6,*) Peri
READ(6,*) Node
READ(6,*) I
READ(6,*) e
READ(6,*) n
READ(6,*) a
READ(6,*) HH
READ(6,*) G

IF (n.EQ.0) n=Gauss*DEXP(-1.5*DLOG(a))*180/pi

M0=M0/180*pi
Peri=Peri/180*pi
Node=Node/180*pi
I=I/180*pi
n=n/180*pi

CALL KEPLER(M0,e,EE)

CALL ECLEQV(Peri,Node,I)

CALL POLOHA(Peri,Node,I,e,a,EE,x,y,z,vx,vy,vz)

h2=h/2
h6=h/6
h22=h*h/2
h26=h*h/6
h28=h*h/8
t=epoch0
Konec=.FALSE.
Elementy=.FALSE.
Zapsat=.FALSE.

write(8,509) Objekt
509 FORMAT(A8)

CALL PLANETY(t, xp, yp, zp)

```

```

C*****
C   MAIN LOOP
C*****

110 READ(7,504) JD,RA,DE,teleskop,deska
504 FORMAT(F14.5,F7.3,F7.3,A3,A5)

      IF (t.LE.JD) GOTO 111

101 CALL DERIVACE(x,y,z, xp,yp,zp,kx1,ky1,kz1)

      x1=x+h2*vx+h22*kx1
      y1=y+h2*vy+h22*ky1
      z1=z+h2*vz+h22*kz1

      CALL PLANETY(t+h/2, xp,yp,zp)
      CALL DERIVACE(x1,y1,z1, xp,yp,zp,kx2,ky2,kz2)

      x1=x+h2*vx+h28*kx2
      y1=y+h2*vy+h28*ky2
      z1=z+h2*vz+h28*kz2

      CALL DERIVACE(x1,y1,z1, xp,yp,zp,kx3,ky3,kz3)

      x1=x+h*vx+h22*kx3
      y1=y+h*vy+h22*ky3
      z1=z+h*vz+h22*kz3

      CALL PLANETY(t+h, xp,yp,zp)
      CALL DERIVACE(x1,y1,z1, xp,yp,zp,kx4,ky4,kz4)

      x=x+h*vx+h26*(kx1+kx2+kx3)
      y=y+h*vy+h26*(ky1+ky2+ky3)
      z=z+h*vz+h26*(kz1+kz2+kz3)

      vx=vx+h6*(kx1+2*kx2+2*kx3+kx4)
      vy=vy+h6*(ky1+2*ky2+2*ky3+ky4)
      vz=vz+h6*(kz1+2*kz2+2*kz3+kz4)

      t=t+h

      IF ((Elementy).AND.(DABS(DMOD(t,20))-0.5).LT.DABS(h/10)) THEN
        r=DSQRT(x*x+y*y+z*z)
        V=DSQRT(vx*vx+vy*vy+vz*vz)/Gauss
        a=1/(2/r-V*V)
        n=Gauss*exp(-1.5*LOG(a))

        pomx=y*vz-z*vy
        pomy=x*vz-z*vx
        pomz=x*vy-y*vx
        CALL ArcTangens(pomx,pomy,Node)
        I=DATAN(pomy/pomz/COS(Node))
        IF (I.LT.0) I=I+pi
        pom=pomz/Gauss/COS(I)
        p=pom*pom
        e=DSQRT(1-p/a)

```

```

pomx=(x*vx+y*vy+z*vz)/r/Gauss*DSQRT(p)
pomy=(p/r-1)
CALL ArcTangens(pomx,pomy,anom)
anom=anom/2
EE=2*DATAN(DSQRT((1-e)/(1+e))*DSIN(anom)/DCOS(anom))
IF (EE.LT.0) EE=EE+2*pi
M0=EE-e*DSIN(EE)

pomx=z/DSIN(I)
pomy=x*DCOS(Node)+y*DSIN(Node)
CALL ArcTangens(pomx,pomy,Peri)
Peri=Peri-anom*2
IF (Peri.LT.0) Peri=Peri+2*pi

CALL EQVECL(Peri,Node,I)

M0= M0*180/pi
Peri= Peri*180/pi
Node= Node*180/pi
I= I*180/pi
n= n*180/pi

WRITE(*,510) t,M0,Peri,Node,I,e,n,a
WRITE(8,510) t,M0,Peri,Node,I,e,n,a
510 FORMAT(F14.5,4(F10.5),F10.7,F11.8,F11.7)

Elementy=.FALSE.
ENDIF

IF (epoch1.GT.epoch0) THEN
  IF (t.GE.(epoch1-h/10)) Konec=.TRUE.
ELSE
  IF (t.LE.(epoch1-h/10)) Konec=.TRUE.
ENDIF

IF ((.NOT.Konec).AND.(t.GT.JD)) GOTO 101

C
C
C
Zde se vypočítá rektascenze a deklinace planety v čase t

CALL PLEPH(t,11,3,pv,inside)
IF (.NOT.inside) STOP 'Out of ephemeris range'
XS=pv(1)
YS=pv(2)
ZS=pv(3)

rox=x+XS
roy=y+YS
roz=z+ZS

R=DSQRT(x*x+y*y+z*z)
delta=DSQRT(rox*rox+roy*roy+roz*roz)

CALL ArcTangens(roy,rox,rect)
rect=rect*12/pi

pom=roz/delta
decl=DATAN(pom/DSQRT(1-pom*pom))*180/pi

```

```

pom=(x*rox+y*roy+z*roz)/DSQRT((x*x+y*y+z*z)
* (rox*rox+roy*roy+roz*roz))
Beta=DATAN(DSQRT(1-pom*pom)/pom)
IF (Beta.LT.0) Beta=Beta+pi

fi1=DEXP(-3.33*DEXP(0.63*DLOG(DSIN(Beta/2)/DCOS(Beta/2))))
fi2=DEXP(-1.87*DEXP(1.22*DLOG(DSIN(Beta/2)/DCOS(Beta/2))))
magnituda=5*DLOG10(delta*R)+HH-2.5*DLOG10((1-G)*fi1+G*fi2)

C
C   Zde se stanovují meze jestli tam těleso je či nikoliv
C
111 IF (teleskop.EQ.'KT') THEN
    DRA=DABS(RA-rect)*DCOS(decl/180*pi)
    DDE=DABS(DE-decl)
    IF ((DRA.LE.0.25D-1).AND.(DDE.LE.0.25D-1)) THEN
        Zapsat=.TRUE.
        Kvalita='Skvělé - je to tam'
        Elementy=.TRUE.
    ELSE
        Zapsat=.FALSE.
    ENDIF
ELSE
    ARG=DSIN(DE/180*pi)*DSIN(decl/180*pi)
    * +DCOS(DE/180*pi)*DCOS(decl/180*pi)*DCOS((RA-rect)/12*pi)
    UV=180/pi*DACOS(ARG)
    IF (UV.LE.2.0D0) THEN
        Zapsat=.TRUE.
        Kvalita='Skvele'
        Elementy=.TRUE.
    ELSEIF (UV.LE.3.0D0) THEN
        Zapsat=.TRUE.
        Kvalita='Dobre '
        Elementy=.TRUE.
    ELSEIF (UV.LE.3.5D0) THEN
        Zapsat=.TRUE.
        Kvalita='Mozna '
        Elementy=.TRUE.
    ELSEIF (UV.LE.4.5D0) THEN
        Zapsat=.TRUE.
        Kvalita='Asi ne'
        Elementy=.TRUE.
    ELSE
        Zapsat=.FALSE.
    ENDIF
ENDIF

WRITE(*,505) JD,RA,DE,teleskop,deska,Zapsat
505 FORMAT(F14.5,F7.3,F7.3,A3,A5,L2)

IF (Zapsat) THEN
    write(*,502) JD,teleskop,deska,RA,DE,rect,decl,Kvalita,magnituda
    write(8,502) JD,teleskop,deska,RA,DE,rect,decl,Kvalita,magnituda
502 FORMAT(F13.5,A3,A5,' stred ='2(F7.3),' pozice ='2(F7.3),
*      A8,F5.1,' mag')
ENDIF

IF (.NOT.Konec) GOTO 110

```

```

CLOSE(8,STATUS='KEEP')

STOP

END

C*****
SUBROUTINE KEPLER(M,e,E1)
C*****

DOUBLE PRECISION M,e,M1
DOUBLE PRECISION E1,E2,E3

PARAMETER ( pi = 3.14159265358979D0 )

E1=M

1001 M1=E1-e*DSIN(E1)
      E2=E1+(M-M1)/(1-e*DCOS(E1))
1002 IF (E2.LT.0)      E2=E2+2*pi
      IF (E2.LT.0)      GOTO 1002
1003 IF (E2.GE.(2*pi)) E2=E2-2*pi
      IF (E2.GE.(2*pi)) GOTO 1003
      E3=E1
      E1=E2
      IF (DABS(E3-E2).GT.1D-10) GOTO 1001

RETURN
END

C*****
SUBROUTINE ECLEQV(Peri,Node,I)
C*****

DOUBLE PRECISION Peri,Node,I
DOUBLE PRECISION Peri1,Node1,I1
DOUBLE PRECISION eps,pomx,pomy,d

PARAMETER ( pi = 3.14159265358979D0 )
PARAMETER ( eps = 23.439291111D0/180*pi )

pomy=DSIN(I)*DSIN(Node)
pomx=DCOS(I)*DSIN(eps)+DSIN(I)*DCOS(eps)*DCOS(Node)
CALL ArcTangens(pomy,pomx,Node1)

pomy=DSIN(I)*DSIN(Node)/DSIN(Node1)
pomx=DCOS(I)*DCOS(eps)-DSIN(I)*DSIN(eps)*DCOS(Node)
CALL ArcTangens(pomy,pomx,I1)

pomy=DSIN(eps)*DSIN(Node)
pomx=DSIN(I)*DCOS(eps)+DCOS(I)*DSIN(eps)*DCOS(Node)
CALL ArcTangens(pomy,pomx,d)
Peri1=Peri+d
IF (Peri1.LT.0D0) Peri1=Peri1+2*pi
IF (Peri1.GE.2*pi) Peri1=Peri1-2*pi

Peri=Peri1

```

```

Node=Node1
I=I1

RETURN
END

```

```

C*****
SUBROUTINE EQVECL(Peri,Node,I)
C*****

```

```

DOUBLE PRECISION Peri,Node,I
DOUBLE PRECISION Peri1,Node1,I1
DOUBLE PRECISION eps,pomx,pomy,d

PARAMETER ( pi = 3.14159265358979D0 )
PARAMETER ( eps = 23.439291111D0/180*pi )

pomy=DSIN(I)*DSIN(Node)
pomx=-DCOS(I)*DSIN(eps)+DSIN(I)*DCOS(eps)*DCOS(Node)
CALL ArcTangens(pomy,pomx,Node1)

pomy=DSIN(I)*DSIN(Node)/DSIN(Node1)
pomx=DCOS(I)*DCOS(eps)+DSIN(I)*DSIN(eps)*DCOS(Node)
CALL ArcTangens(pomy,pomx,I1)

pomy=DSIN(eps)*DSIN(Node)
pomx=DSIN(I)*DCOS(eps)-DCOS(I)*DSIN(eps)*DCOS(Node)
CALL ArcTangens(pomy,pomx,d)
Peri1=Peri-d
IF (Peri1.LT.0D0) Peri1=Peri1+2*pi
IF (Peri1.GE.2*pi) Peri1=Peri1-2*pi

Peri=Peri1
Node=Node1
I=I1

RETURN
END

```

```

C*****
SUBROUTINE POLOHA(Peri,Node,I,e,a,EE,x,y,z,vx,vy,vz)
C*****

```

```

DOUBLE PRECISION Peri,Node,I,e,a,EE,x,y,z,vx,vy,vz
DOUBLE PRECISION Px,Py,Pz,Qx,Qy,Qz,Ax,Ay,Az,Bx,By,Bz

PARAMETER ( Gauss = 0.01720209895D0 )

Px= DCOS(Peri)*DCOS(Node)-DSIN(Peri)*DSIN(Node)*DCOS(I)
Py= DCOS(Peri)*DSIN(Node)+DSIN(Peri)*DCOS(Node)*DCOS(I)
Pz= DSIN(Peri)*DSIN(I)
Qx=-DSIN(Peri)*DCOS(Node)-DCOS(Peri)*DSIN(Node)*DCOS(I)
Qy=-DSIN(Peri)*DSIN(Node)+DCOS(Peri)*DCOS(Node)*DCOS(I)
Qz= DCOS(Peri)*DSIN(I)

Ax=a*Px

```

```

Ay=a*Py
Az=a*Pz
Bx=a*DSQRT(1-e*e)*Qx
By=a*DSQRT(1-e*e)*Qy
Bz=a*DSQRT(1-e*e)*Qz

x=Ax*(DCOS(EE)-e)+Bx*DSIN(EE)
y=Ay*(DCOS(EE)-e)+By*DSIN(EE)
z=Az*(DCOS(EE)-e)+Bz*DSIN(EE)
r=DSQRT(x*x+y*y+z*z)

vx=Gauss/r/DSQRT(a)*(Bx*DCOS(EE)-Ax*DSIN(EE))
vy=Gauss/r/DSQRT(a)*(By*DCOS(EE)-Ay*DSIN(EE))
vz=Gauss/r/DSQRT(a)*(Bz*DCOS(EE)-Az*DSIN(EE))

RETURN
END

C*****
SUBROUTINE PLANETY(t, xp, yp, zp)
C*****

DOUBLE PRECISION t
DOUBLE PRECISION xp(9), yp(9), zp(9)
DOUBLE PRECISION pv(6)

LOGICAL inside

DO 1301 K=1,9
IF (K.EQ.3) THEN
CALL PLEPH(t,13,11,pv,inside)
ELSE
CALL PLEPH(t,K,11,pv,inside)
ENDIF
IF (.NOT.inside) STOP 'Out of ephemeris range'
xp(K)=pv(1)
yp(K)=pv(2)
zp(K)=pv(3)
1301 CONTINUE

RETURN
END

C*****
SUBROUTINE DERIVACE(x, y, z, xp, yp, zp, fx, fy, fz)
C*****

INTEGER K

DOUBLE PRECISION x, y, z, fx, fy, fz, r, r3, pom
DOUBLE PRECISION xp(9), yp(9), zp(9), rp(9), rp3(9)
DOUBLE PRECISION GM(9)

COMMON /HMOTY/ GM

PARAMETER ( Gauss = 0.01720209895D0 )

```

```

PARAMETER ( Gauss2 = Gauss*Gauss )

DO 1101 K=1,9
  rp(K)=DSQRT(xp(K)*xp(K)+yp(K)*yp(K)+zp(K)*zp(K))
  rp3(K)=rp(K)*rp(K)*rp(K)
1101 CONTINUE

r=DSQRT(x*x+y*y+z*z)
r3=r*r*r

pom=-Gauss2/r3
fx=pom*x
fy=pom*y
fz=pom*z

DO 1102 L=1,9
  pomx=x-xp(L)
  pomy=y-yp(L)
  pomz=z-zp(L)
  pom=DSQRT(pomx*pomx+pomy*pomy+pomz*pomz)
  RR=pom*pom*pom
  fx=fx+GM(L)*((xp(L)-x)/RR-xp(L)/rp3(L))
  fy=fy+GM(L)*((yp(L)-y)/RR-yp(L)/rp3(L))
  fz=fz+GM(L)*((zp(L)-z)/RR-zp(L)/rp3(L))
1102 CONTINUE

RETURN
END

C*****
SUBROUTINE ArcTangens(Y,X,prom)
C*****

INTEGER kvadrant
DOUBLE PRECISION Y,X,prom,pi,pi12,pi32,pi2

PARAMETER ( pi = 3.14159265358979D0 )
PARAMETER ( pi12= pi/2 )
PARAMETER ( pi32= 3*pi/2 )
PARAMETER ( pi2= 2*pi )

IF ((X.GT.0D0).AND.(Y.GT.0D0)) kvadrant=1
IF ((X.LT.0D0).AND.(Y.GT.0D0)) kvadrant=2
IF ((X.LT.0D0).AND.(Y.LT.0D0)) kvadrant=3
IF ((X.GT.0D0).AND.(Y.LT.0D0)) kvadrant=4

IF ((X.NE.0D0).AND.(Y.NE.0D0)) THEN
  prom=DATAN(Y/X)

  IF (kvadrant.EQ.1) GOTO 1201
  IF (kvadrant.EQ.2) GOTO 1202
  IF (kvadrant.EQ.3) GOTO 1203
  IF (kvadrant.EQ.4) GOTO 1204

1201 IF (prom.LT.0D0) THEN prom=prom+pi12
    IF (prom.LT.0D0) GOTO 1201
1211 IF (prom.GT.pi12) THEN prom=prom-pi12

```



```

        IF (prom.GT.pi12) GOTO 1211
        GOTO 1205
1202  IF (prom.LT.pi12) prom=prom+pi12
        IF (prom.LT.pi12) GOTO 1202
1212  IF (prom.GT.pi)  prom=prom-pi12
        IF (prom.GT.pi)  GOTO 1212
        GOTO 1205
1203  IF (prom.LT.pi)  prom=prom+pi12
        IF (prom.LT.pi)  GOTO 1203
1213  IF (prom.GT.pi32) prom=prom-pi12
        IF (prom.GT.pi32) GOTO 1213
        GOTO 1205
1204  IF (prom.LT.pi32) prom=prom+pi12
        IF (prom.LT.pi32) GOTO 1204
1214  IF (prom.GT.pi2)  prom=prom-pi12
        IF (prom.GT.pi2)  GOTO 1214

```

```
1205  ENDIF
```

```

        IF (X.EQ.0D0) THEN
            IF (Y.GT.0D0) THEN
                prom=pi12
            ELSE
                prom=pi32
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF
    IF (Y.EQ.0) THEN
        IF (X.GT.0) THEN
            prom=0
        ELSE
            prom=pi
        ENDIF
    ENDIF

```

```

RETURN
END

```

```
C+++++
```

```
    SUBROUTINE EPHOPN
```

```
C+++++
```

```

    SAVE
    CHARACTER*6  TTL(14,3)
    CHARACTER*6  CNAM(400)
    COMMON/CHRHDR/CNAM,TTL
    DOUBLE PRECISION  SS(3)
    INTEGER  NCON
    DOUBLE PRECISION  CVAL(400)
    DOUBLE PRECISION  AU
    DOUBLE PRECISION  EMRAT
    INTEGER  IPT(3,12)
    INTEGER  DENUM
    INTEGER  LPT(3)
    COMMON/EPHHDR/CVAL,SS,AU,EMRAT,DENUM,NCON,IPT,LPT
    PARAMETER (IBDIM=3000)
    DOUBLE PRECISION  BUF(IBDIM/2)
    INTEGER  KSIZE
    COMMON/EPIB/BUF
    COMMON/EPKS/KSIZE

```

```

INTEGER IRECSZ

LOGICAL FIRST

DATA FIRST/.TRUE./

KSIZE = 2036

IF(FIRST) THEN

    IF ( KSIZE .EQ. 0 ) THEN
        WRITE (*,*) ' EPHOPN: KSIZE was not set. ' //
        . ' Process stopped.'
        STOP
    ENDIF

    IF(KSIZE .GT. IBDIM) THEN
        WRITE(6,266) IBDIM,KSIZE
266    FORMAT(/'***** THE PARAMETER IBDIM IS SET AT ONLY',I6,
        . ' . IT MUST BE INCREASED TO AT LEAST',I6,' *****')
        STOP
    ENDIF

    IRECSZ=NRECL*KSIZE

    OPEN(12,
*     FILE='JPLEPH',
*     ACCESS='DIRECT',
*     FORM='UNFORMATTED',
*     RECL=IRECSZ,
*     STATUS='OLD')

    READ(12,REC=1) TTL,CNAM,SS,NCON,AU,EMRAT,IPT,DENUM,LPT
    READ(12,REC=2) CVAL

    WRITE(*,'(14A6)')(TTL(I,1),I=1,14)

    FIRST=.FALSE.

ENDIF

RETURN

END

C+*****
SUBROUTINE STATE(JED,LIST,PV,NUT)
C+*****
SAVE

DOUBLE PRECISION JED(2)
INTEGER LIST(12)
DOUBLE PRECISION PV(6,11)
DOUBLE PRECISION NUT(4)

```

```

DOUBLE PRECISION T(2)
DOUBLE PRECISION AUFAC
DOUBLE PRECISION JD(4)
DOUBLE PRECISION S

PARAMETER (IBDIM=2000)
DOUBLE PRECISION BUF(IBDIM/2)
INTEGER KSIZE
COMMON/EPIB/BUF
COMMON/EPKS/KSIZE
LOGICAL FIRST
CHARACTER*6 TTL(14,3)
CHARACTER*6 CNAM(400)
COMMON/CHRHDR/CNAM,TTL
DOUBLE PRECISION SS(3)
INTEGER NCON
DOUBLE PRECISION CVAL(400)
DOUBLE PRECISION AU
DOUBLE PRECISION EMRAT
INTEGER L(3,12)
INTEGER DENUM
INTEGER LPT(3)
COMMON/EPHHDR/CVAL,SS,AU,EMRAT,DENUM,NCON,L,LPT
LOGICAL KM
LOGICAL BARY
DOUBLE PRECISION PVSUN(3,2)
COMMON/STCOMM/KM,BARY,PVSUN
INTEGER NRL
DATA AUFAC/1.DO/
DATA FIRST/.TRUE./
DATA NRL/0/
IF(FIRST) THEN
  FIRST=.FALSE.
  CALL EPHOPN
  IF(KM) THEN
    T(2)=SS(3)*86400.DO
  ELSE
    T(2)=SS(3)
    AUFAC=1.DO/AU
  ENDIF
ENDIF

S=JED(1)-.5D0
CALL SPLIT(S,JD(1))
CALL SPLIT(JED(2),JD(3))
JD(1)=JD(1)+JD(3)+.5D0
JD(2)=JD(2)+JD(4)
CALL SPLIT(JD(2),JD(3))
JD(1)=JD(1)+JD(3)

IF(JD(1).LT.SS(1).OR. JD(1)+JD(4).GT.SS(2)) THEN
  WRITE (*,*) ' STATE: Epoch out of range.'
  STOP
ENDIF

NR=IDINT((JD(1)-SS(1))/SS(3))+3

```

```

IF(JD(1).EQ.SS(2)) NR=NR-1
T(1)=((JD(1)-(DBLE(NR-3)*SS(3)+SS(1)))+JD(4))/SS(3)

IF(NR.NE.NRL) THEN

    NRL=NR
    READ(12,REC=NR,ERR=99)(BUF(K),K=1,KSIZE/2)

ENDIF

CALL INTERP(BUF(L(1,11)),T,L(2,11),3,L(3,11),2,PVSUN)
DO 6 I=1,6
6 PVSUN(I,1)=PVSUN(I,1)*AUFAC

DO 3 I=1,10

    IF(LIST(I).LE.0) GO TO 5

    IF(L(2,I).LE.0)CALL ERRPRT(I,'th body requested - not on file')

    CALL INTERP(BUF(L(1,I)),T,L(2,I),3,L(3,I),LIST(I),PV(1,I))

    DO J=1,LIST(I)*3
    IF(I.LE.9 .AND. .NOT.BARY) THEN
        PV(J,I)=PV(J,I)*AUFAC-PVSUN(J,1)
    ELSE
        PV(J,I)=PV(J,I)*AUFAC
    ENDIF
    ENDDO

5 CONTINUE
3 CONTINUE

IF(LIST(11).GT.0 .AND. L(2,12).GT.0)
* CALL INTERP(BUF(L(1,12)),T,L(2,12),2,L(3,12),LIST(11),NUT)

IF(LPT(2).GT.0 .AND. LIST(12).GT.0)
* CALL INTERP(BUF(LPT(1)),T,LPT(2),3,LPT(3),LIST(12),PV(1,11))

RETURN

99 WRITE(6,299)
299 FORMAT(' ***** ERROR RETURN IN CALL TO STATE FROM PLEPH *****')
RETURN

END

C+++++
SUBROUTINE CONST(NAM,VAL,SSS,N)
C+++++
SAVE

CHARACTER*6 NAM(*)
DOUBLE PRECISION VAL(*)

```

```

DOUBLE PRECISION SSS(3)
INTEGER N

CHARACTER*6 TTL(14,3)
CHARACTER*6 CNAM(400)
COMMON/CHRHDR/CNAM,TTL

DOUBLE PRECISION SS(3)
INTEGER NCON
DOUBLE PRECISION CVAL(400)
DOUBLE PRECISION AU
DOUBLE PRECISION EMRAT
INTEGER IPT(36)
INTEGER DENUM
INTEGER LPT(3)
COMMON/EPHHDR/CVAL,SS,AU,EMRAT,DENUM,NCON,IPT,LPT

CALL EPHOPN

N=NCON
DO 1 I=1,3
1 SSS(I)=SS(I)
DO 2 I=1,NCON
NAM(I)=CNAM(I)
2 VAL(I)=CVAL(I)

RETURN

END

C+++++
SUBROUTINE PLEPH ( JD, TARG, CENT, RRD, INSIDE)
C+++++
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)

SAVE

DOUBLE PRECISION JD
INTEGER          TARG
INTEGER          CENT
DOUBLE PRECISION RRD(6)
LOGICAL          INSIDE

DOUBLE PRECISION JD2(2),JDTOT,JED(2)
DOUBLE PRECISION PV(6,13)
DOUBLE PRECISION EMBF(2)
DOUBLE PRECISION VE(2)
DOUBLE PRECISION FAC

LOGICAL FIRST
LOGICAL BSAVE

INTEGER LIST(12)
INTEGER L(2)
INTEGER TC(2)
INTEGER LLST(13)
INTEGER NEMB

```

```

CHARACTER*6 TTL(14,3)
CHARACTER*6 CNAM(400)
COMMON/CHRHDR/CNAM,TTL

DOUBLE PRECISION SS(3)
INTEGER NCON
DOUBLE PRECISION CVAL(400)
DOUBLE PRECISION AU
DOUBLE PRECISION EMRAT
INTEGER IPT(36)
INTEGER DENUM
INTEGER LPT(3)
COMMON/EPHHR/CVAL,SS,AU,EMRAT,DENUM,NCON,IPT,LPT

LOGICAL KM
LOGICAL BARY
DOUBLE PRECISION PVSUN(6)
COMMON/STCOMM/KM,BARY,PVSUN

INTEGER IPV
COMMON/PLECOM/IPV

DATA JED/2*0.DO/
DATA PV/78*0.DO/
DATA EMBF/-1.DO,1.DO/
DATA LIST/12*0/
DATA L/2*0/
DATA TC/2*0/
DATA LLST/1,2,10,4,5,6,7,8,9,10,11,11,3/
DATA FIRST/.TRUE./
DATA FAC/0.DO/
DATA NEMB/1/

IF(FIRST) THEN
  IPV=2
  FIRST=.FALSE.
  CALL EPHOPN
  VE(1)=1.DO/(1.DO+EMRAT)
  VE(2)=EMRAT*VE(1)
ENDIF

JED(1)=JD
JED(2)=0.DO
GO TO 11

ENTRY DPLEPH(JD2,TARG,CENT,RRD)

JED(1)=JD2(1)
JED(2)=JD2(2)

11 JDTOT=JED(1)+JED(2)

IF(JDTOT .GE. SS(1) .AND. JDTOT .LE. SS(2)) GO TO 96

  INSIDE = .FALSE.
  RETURN

```

```

96  INSIDE = .TRUE.
    NCMP   = 3*IPV

    IF(TARG.EQ.14) THEN
      IF(IPT(35).GT.0) THEN
        LIST(11)=IPV
        CALL STATE(JED,LIST,PV,RRD)
        LIST(11)=0
        RETURN
      ELSE
        WRITE(6,297)
297  FORMAT(' ***** NO MUTATIONS ON THE EPHEMERIS FILE *****')
        STOP
      ENDIF
    ENDIF

    IF(TARG.EQ.15) THEN
      IF(LPT(2).GT.0) THEN
        LIST(12)=IPV
        CALL STATE(JED,LIST,PV,RRD)
        LIST(12)=0
        DO 7 I=1,NCMP
7      RRD(I)=PV(I,11)
        RETURN
      ELSE
        WRITE(6,298)
298  FORMAT(' ***** NO LIBRATIONS ON THE EPHEMERIS FILE *****')
        STOP
      ENDIF
    ENDIF

    IF(TARG.EQ.CENT) THEN
      DO 1 I=1,NCMP
1     RRD(I)=0.DO
      RETURN
    ENDIF

    BSAVE=BARY
    BARY=.TRUE.

    TC(1)=TARG
    TC(2)=CENT
    LME=0

    DO 2 I=1,2
      L(I)=LLST(TC(I))
      IF(L(I).LT.11) LIST(L(I))=IPV
      IF(TC(I).EQ.3) THEN
        LME=3
        FAC=-VE(1)
      ELSEIF(TC(I).EQ.10) THEN
        LME=10
        FAC=VE(2)
      ELSEIF(TC(I).EQ.13) THEN
        NEMB=I
      ENDIF
    ENDIF

```

```

2 CONTINUE

IF(LIST(10).EQ.IPV .AND. L(1).NE.L(2)) LIST(3)=IPV-LIST(3)

CALL STATE(JED,LIST,PV,RRD)

IF(TARG.EQ.10 .AND. CENT.EQ.3) THEN
  DO 3 I=1,NCMP
3  RRD(I)=PV(I,10)

  ELSEIF(TARG.EQ.3 .AND. CENT.EQ.10) THEN
  DO 4 I=1,NCMP
4  RRD(I)=-PV(I,10)

  ELSEIF((TARG.EQ.13 .OR. CENT.EQ.13) .AND. LIST(10).EQ.IPV) THEN
  DO 5 I=1,NCMP
5  RRD(I)=PV(I,10)*FAC*EMBF(NEMB)

  ELSE
  DO 6 I=1,NCMP
  PV(I,11)=PVSUN(I)
  PV(I,13)=PV(I,3)
  IF(LME.GT.0) PV(I,LME)=PV(I,3)+FAC*PV(I,10)
6  RRD(I)=PV(I,TARG)-PV(I,CENT)

  ENDIF

LIST(3)=0
LIST(L(1))=0
LIST(L(2))=0
BARY=BSAVE

RETURN
END

```

```

C+++++
SUBROUTINE INTERP (BUF, T, NCF, NCM, NA, FL, PV)
C+++++
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)

SAVE

DOUBLE PRECISION BUF(NCF,NCM,*)
DOUBLE PRECISION T(2)
INTEGER NCF
INTEGER NCM
INTEGER NA
INTEGER FL
DOUBLE PRECISION PV(NCM,*)

INTEGER NP
INTEGER NV

DOUBLE PRECISION TWOT
DOUBLE PRECISION PC(18)
DOUBLE PRECISION VC(18)

```



```

DATA NP/2/
DATA NV/3/
DATA TWOT/0.DO/
DATA PC(1),PC(2)/1.DO,0.DO/
DATA VC(2)/1.DO/

DNA=DBLE(NA)
DT1=DINT(T(1))
TEMP=DNA*T(1)
L=IDINT(TEMP-DT1)+1

TC=2.DO*(DMOD(TEMP,1.DO)+DT1)-1.DO

IF(TC.NE.PC(2)) THEN
  NP=2
  NV=3
  PC(2)=TC
  TWOT=TC+TC
ENDIF

IF(NP.LT.NCF) THEN
  DO 1 I=NP+1,NCF
    PC(I)=TWOT*PC(I-1)-PC(I-2)
1  CONTINUE
  NP=NCF
ENDIF

DO 2 I=1,NCM
  PV(I,1)=0.DO
  DO 3 J=NCF,1,-1
    PV(I,1)=PV(I,1)+PC(J)*BUF(J,I,L)
3  CONTINUE
2  CONTINUE
  IF(FL.LE.1) RETURN

VFAC=(DNA+DNA)/T(2)
VC(3)=TWOT+TWOT
IF(NV.LT.NCF) THEN
  DO 4 I=NV+1,NCF
    VC(I)=TWOT*VC(I-1)+PC(I-1)+PC(I-1)-VC(I-2)
4  CONTINUE
  NV=NCF
ENDIF

DO 5 I=1,NCM
  PV(I,2)=0.DO
  DO 6 J=NCF,2,-1
    PV(I,2)=PV(I,2)+VC(J)*BUF(J,I,L)
6  CONTINUE
  PV(I,2)=PV(I,2)*VFAC
5  CONTINUE

RETURN

END

```

```

C+++++
      SUBROUTINE SPLIT ( TT, FR )
C+++++
      DOUBLE PRECISION  TT
      DOUBLE PRECISION  FR(2)

      FR(1) = DINT(TT)
      FR(2) = TT - FR(1)

      IF ( (TT .LT. 0.DO) .AND. (FR(2) .NE. 0.DO) ) THEN

          FR(1) = FR(1) - 1.DO
          FR(2) = FR(2) + 1.DO

      ENDIF

      RETURN
      END

      SUBROUTINE  ERRPRT (I, MSG)

      CHARACTER*(*)  MSG
      INTEGER        I

      WRITE (*,200)  I, MSG
200  FORMAT('ERROR #',I8,2X,A50)

      STOP ' ERROR '
      END

```

Dodatek B

1996 TL66

První kletřská následná astrometrie tělesa Kuiperova pásu, jak byla publikována v MPEC 1997-C12:

M.P.E.C. 1997-C12

Issued 1997 Feb. 15, 19:17 UT

The Minor Planet Electronic Circulars contain information on unusual minor planets and routine data on comets. They are published on behalf of Commission 20 of the International Astronomical Union by the Minor Planet Center, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA 02138, U.S.A.

BMARSDEN@CFA.HARVARD.EDU or GWILLIAMS@CFA.HARVARD.EDU
URL <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html>

1996 TL66

Revision to MPEC 1997-B18

Observations:

J96T66L	C1997	01	31.18771	01	55	19.23	+13	55	15.4	21.2	V	709
J96T66L	C1997	02	01.15519	01	55	21.80	+13	55	17.1	21.0	V	709
J96T66L	C1997	02	01.17146	01	55	21.82	+13	55	17.1	21.3	V	709
J96T66L	rC1997	02	01.20032	01	55	21.82	+13	55	17.0			696
J96T66L	rC1997	02	01.21899	01	55	21.85	+13	55	17.0			696
J96T66L	VC1997	02	01.75046	01	55	23.42	+13	55	17.5			046
J96T66L	VC1997	02	01.75316	01	55	23.41	+13	55	20.0			046
J96T66L	VC1997	02	02.74716	01	55	26.32	+13	55	19.6			046
J96T66L	C1997	02	04.15376	01	55	30.38	+13	55	25.5	20.5	V	709
J96T66L	C1997	02	04.17005	01	55	30.44	+13	55	25.8	20.8	V	709
J96T66L	C1997	02	10.11436	01	55	50.24	+13	55	57.9			697
J96T66L	C1997	02	10.12471	01	55	50.24	+13	55	57.5	19.9	V	709
J96T66L	C1997	02	10.14105	01	55	50.30	+13	55	57.5	20.4	V	709
J96T66L	C1997	02	10.15472	01	55	50.37	+13	55	58.2			697
J96T66L	C1997	02	10.15735	01	55	50.36	+13	55	57.8	20.1	V	709
J96T66L	C1997	02	11.12321	01	55	53.94	+13	56	05.2	21.5	V	709
J96T66L	C1997	02	11.15594	01	55	53.98	+13	56	06.4	20.4	V	709

Observer details:

046 Klet. Observers J. Ticha, M. Tichy. Measurer M. Tichy.
 0.57-m f/5.2 reflector + CCD.
 696 Whipple Observatory, Mt. Hopkins. Observer C. W. Hergenrother.
 1.2-m reflector.
 697 Kitt Peak, McGraw-Hill. Observers H. F. Levison, J. W. Parker.
 2.4-m reflector.
 709 Cloudcroft. Observer W. Offutt. 0.6-m Ritchey-Chretien + CCD.

Orbital elements:

1996 TL66
 Epoch 1996 Nov. 13.0 TT = JDT 2450400.5 Marsden
 M 358.26499 (2000.0) P Q
 n 0.00129331 Peri. 182.60504 +0.76432296 -0.59494237
 a 83.4325074 Node 217.76084 +0.59872352 +0.79798615
 e 0.5793897 Incl. 23.96238 +0.23945890 -0.09623766
 P 762 H 5.0 G 0.15 U 6
 From 49 observations 1996 Oct. 9-1997 Feb. 11, mean residual 0".47.

Ephemeris:

1996 TL66 a,e,i = 83.43, 0.58, 24 q = 35.093

Date	TT	R. A. (2000)	Decl.	Delta	r	Elong.	Phase	V
1997 02 11		01 55.89	+13 56.1	35.535	35.201	69.5	1.5	20.7
1997 02 21		01 56.60	+13 57.8	35.690	35.200	59.6	1.4	20.7
1997 03 03		01 57.46	+14 00.5	35.830	35.198	49.7	1.2	20.7
1997 03 13		01 58.45	+14 03.9	35.952	35.196	40.0	1.0	20.7
1997 03 23		01 59.56	+14 08.0	36.051	35.195	30.3	0.8	20.7

The uncertainty in semimajor axis is now about +/- 1 AU.

Brian G. Marsden

(C) Copyright 1997 MPC

M.P.E.C. 1997-C12

Dodatek C

Následná astrometrie TNOs

Následná astrometrie transneptunických těles prováděná v rámci projektu KLENOT, jak byla posílána do Minor Planet Center, kde byla posléze publikována v Minor Planet Circulars:

```
COD 246
CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic
CON [klet@klet.cz]
OBS M. Tichý, M. Kočer
MEA M. Tichý
TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD
NET USNO-A2.0
TYP TNO
ACK K03-A05
    K02V95E C2003 01 08.81588 03 09 49.59 +09 02 06.1      246
    K02V95E C2003 01 08.81714 03 09 49.62 +09 02 06.0      246
    K02V95E C2003 01 08.81836 03 09 49.60 +09 02 06.7      246
    K02V95E C2003 01 08.82022 03 09 49.60 +09 02 06.2      246
    K02V95E C2003 01 08.82182 03 09 49.60 +09 02 05.7      246
```

```
COD 246
CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic
CON [klet@klet.cz]
OBS M. Tichý
MEA M. Tichý
TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD
NET USNO-A2.0
TYP TNO
ACK K03-B07
    K02V95E C2003 01 20.74851 03 09 27.70 +09 02 43.7      246
    K02V95E C2003 01 20.75036 03 09 27.72 +09 02 43.7      246
    K02V95E C2003 01 20.75219 03 09 27.71 +09 02 43.7      246
```

K02V95E C2003 01 20.75304 03 09 27.72 +09 02 44.8 246
 K02V95E C2003 01 20.75391 03 09 27.63 +09 02 44.9 246

COD 246

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
 CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic

CON [klet@klet.cz]

OBS M. Tichý, M. Kočer

MEA M. Tichý

TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD

NET USNO-A2.0

TYP TNO

ACK K03-D44

55565 C2003 02 26.82917 08 54 51.46 +09 39 28.8 246
 55565 C2003 02 26.83135 08 54 51.45 +09 39 28.7 246
 55565 C2003 02 26.83354 08 54 51.42 +09 39 28.1 246
 55565 C2003 02 26.83458 08 54 51.44 +09 39 28.2 246
 55565 C2003 02 26.83571 08 54 51.44 +09 39 28.4 246

COD 246

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
 CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic

CON [klet@klet.cz]

OBS J. Tichá, M. Tichý

MEA M. Tichý

TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD

NET USNO-A2.0

TYP TNO

ACK K03-J06

K03FC8Y C2003 05 03.88064 11 59 40.75 -04 43 57.4 246
 K03FC8Y C2003 05 03.88267 11 59 40.75 -04 43 57.9 246
 K03FC8Y C2003 05 03.88556 11 59 40.73 -04 43 57.8 246
 K03FC8Y C2003 05 03.88666 11 59 40.75 -04 43 57.0 246
 K03FC8Y C2003 05 03.88995 11 59 40.71 -04 43 57.6 246
 K03FC8X C2003 05 03.90691 13 24 08.99 +03 03 36.3 246
 K03FC8X C2003 05 03.90976 13 24 09.02 +03 03 36.2 246
 K03FC8X C2003 05 03.91203 13 24 09.01 +03 03 35.4 246
 K03FC8X C2003 05 03.91556 13 24 09.00 +03 03 35.3 246
 K03FC8X C2003 05 03.91706 13 24 08.94 +03 03 36.5 246
 K03FC8X C2003 05 03.91977 13 24 08.93 +03 03 36.0 246

COD 246

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
 CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic

CON [klet@klet.cz]

OBS J. Tichá, M. Tichý

MEA M. Tichý

TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD

NET USNO-A2.0

TYP TNO

ACK K03-J11

K03FC8Y C2003 05 04.83408 11 59 37.64 -04 43 35.4 246

K03FC8Y	C2003 05 04.83643 11 59 37.60 -04 43 34.3	246
K03FC8Y	C2003 05 04.83742 11 59 37.59 -04 43 33.7	246
K03FC8Y	C2003 05 04.83889 11 59 37.55 -04 43 34.9	246
K03FC8Y	C2003 05 04.84296 11 59 37.54 -04 43 33.9	246

COD 246

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic

CON [klet@klet.cz]

OBS J. Tichá, M. Tichý

MEA M. Tichý

TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD

NET USNO-A2.0

TYP TNO

ACK K03-P08

K02P34N	C2003 08 03.93426 20 56 17.55 -12 48 22.0	246
K02P34N	C2003 08 03.93932 20 56 17.52 -12 48 22.2	246
K02P34N	C2003 08 03.94282 20 56 17.48 -12 48 21.9	246
K02P34N	C2003 08 03.94521 20 56 17.44 -12 48 21.4	246
K02P34N	C2003 08 03.95344 20 56 17.35 -12 48 22.1	246

COD 246

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic

CON [klet@klet.cz]

OBS J. Tichá, M. Tichý

MEA M. Tichý

TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD

NET USNO-A2.0

TYP TNO

ACK K04-D24

K04D00W	C2004 02 20.90353 09 24 50.05 -03 27 07.0	246
K04D00W	C2004 02 20.90426 09 24 50.02 -03 27 06.4	246
K04D00W	C2004 02 20.90503 09 24 50.02 -03 27 06.3	18.1 R 246
K04D00W	C2004 02 20.90575 09 24 50.01 -03 27 06.6	246
K04D00W	C2004 02 20.90655 09 24 50.00 -03 27 06.2	246

COD 246

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,
CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic

CON [klet@klet.cz]

OBS J. Tichá, M. Tichý

MEA M. Tichý

TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD

NET USNO-A2.0

TYP TNO

ACK K04-E01 (candidate for 2003 VB12)

K03V12B	HC2004 03 13.76672 03 13 46.98 +05 45 08.3	246
---------	--	-----

COD 246

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,

CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic
 CON [klet@klet.cz]
 OBS J. Tichá, M. Tichý, M. Kočer
 MEA M. Tichý
 TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD
 NET USNO-A2.0
 TYP TNO
 ACK K04-E08
 K03V12B HC2004 03 14.76461 03 13 48.60 +05 45 21.0 20.7 R 246
 K03V12B HC2004 03 14.77174 03 13 48.64 +05 45 22.7 246
 K03V12B HC2004 03 14.77351 03 13 48.68 +05 45 22.0 246
 K03V12B HC2004 03 14.77448 03 13 48.70 +05 45 21.2 246

COD 246
 CON J. Tichá, Hvězdárna Klet', Zátkovo nábřeží 4,
 CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic
 CON [klet@klet.cz]
 OBS M. Tichý
 MEA M. Tichý
 TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD
 NET USNO-A2.0
 TYP TNO
 ACK K04-E13
 K04D00W C2004 03 15.81074 09 23 18.17 -03 17 00.7 246
 K04D00W C2004 03 15.81155 09 23 18.16 -03 17 01.3 246
 K04D00W C2004 03 15.81280 09 23 18.16 -03 17 01.0 246
 K04D00W C2004 03 15.81400 09 23 18.15 -03 17 01.1 246

COD 246
 CON J. Tichá, Hvězdárna Klet', Zátkovo nábřeží 4,
 CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic
 CON [klet@klet.cz]
 OBS J. Tichá, M. Tichý, M. Kočer
 MEA M. Tichý
 TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD
 NET USNO-A2.0
 TYP TNO
 ACK K04-017
 K03UT2R HC2004 07 17.03361 00 56 50.32 +03 56 16.1 246
 K03UT2R HC2004 07 17.04035 00 56 50.30 +03 56 15.8 246

COD 246
 CON J. Tichá, Hvězdárna Klet', Zátkovo nábřeží 4,
 CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic
 CON [klet@klet.cz]
 OBS J. Tichá, M. Tichý, M. Kočer
 MEA M. Tichý
 TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD
 NET USNO-A2.0
 TYP TNO
 ACK K04-S33 (2003 UZ117)
 K03UB7Z C2004 09 18.98371 03 01 33.19 +06 52 59.8 246
 K03UB7Z C2004 09 18.99727 03 01 33.18 +06 53 00.1 246
 K03UB7Z C2004 09 19.00615 03 01 33.14 +06 53 00.9 246

K03UB7Z	C2004 09 19.01761 03 01 33.06 +06 53 00.9	246
K03UB7Z	C2004 09 19.02229 03 01 33.08 +06 52 59.5	246
K03UB7Z	C2004 09 19.02332 03 01 33.05 +06 52 59.3	246

COD 246

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,

CON 370 01 České Budějovice, Czech Republic

CON [klet@klet.cz]

OBS J. Tichá, M. Tichý, M. Kočer

MEA M. Tichý

TEL 1.06-m KLENOT Telescope + CCD

NET USNO-A2.0

TYP TNO

ACK K04-S34

90377	C2004 09 18.08079 03 19 01.87 +05 56 39.8	246
90377	C2004 09 18.08219 03 19 01.85 +05 56 41.0	246
90377	C2004 09 18.98934 03 19 00.85 +05 56 29.4	246
90377	C2004 09 18.99145 03 19 00.83 +05 56 29.4	246
90377	C2004 09 18.99353 03 19 00.81 +05 56 29.7	246

COD 046

CON J. Tichá, Hvězdárna Kletř, Zátkovo nábřeží 4,

CON 370 01 České Budějovice, South Bohemia, Czech Republic

CON [klet@klet.cz]

OBS J. Tichá, M. Tichý

MEA M. Tichý

TEL 0.57-m f/5.2 reflector + CCD

NET USNO-A2.0

TYP TNO

ACK 2006-A01

K05F09Y	C2006 01 16.10690 12 23 43.82 +29 36 41.9	046
K05F09Y	C2006 01 16.10877 12 23 43.79 +29 36 41.7	046
K05F09Y	C2006 01 16.11054 12 23 43.80 +29 36 41.7	046