

MASARYKOVA UNIVERZITA
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA



Bakalářská práce

**NÁSLEDNÁ ASTROMETRIE BLÍZKOZEMNÍCH PLANETEK
A JEJÍ VLIV NA PŘESNOST DRÁHOVÝCH ELEMENTŮ**

Vypracovala: Veronika Vašáková
Vedoucí: Mgr. Jan Janík, Ph.D.
Konzultant: Bc. Miloš Tichý

BRNO 2007

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a použila jen prameny uvedené v seznamu literatury. Souhlasím, aby bakalářská práce byla uložena na Masarykově univerzitě v Brně a byla zpřístupněna ke studijním nebo k jiným veřejně prospěšným účelům.

V Brně dne:

Podpis:

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Mgr. Janu Janíkovi, Ph.D. za ochotu a trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat konzultantovi bakalářské práce Bc. Miloši Tichému za cenné a odborné rady.

Abstrakt

Tato práce se věnuje následné astrometrii blízkozemních planetek a jejímu vlivu na přesnost dráhových elementů. V první kapitole jsou popsány druhy planetek. V druhé kapitole se nachází historie objevů planetek, jak se označují a jaké existují hledací programy. Třetí kapitola se zabývá CCD astrometrií, tedy projekcí sféry do roviny CCD snímku. Dále jsou zde stručně popsány dráhové elementy a metody k jejich určení. Poslední kapitola ukazuje na konkrétních planetkách jak se jejich dráhové elementy zpřesňují díky následné astrometrii.

Abstract

This assignment is about astrometry of NEA objects and its effect on accuracy of orbital elements. First chapter aims to described different types of NEO objects. Second chapter introduced the history of NEA objects, description of NEA objects and what kind of searching programs exist. Third chapter is about CCD astrometry projection of spheres to the level CCD. In this chapter are descibed orbit elements and methods of their definition. The last chapter deals with each NEA objects and showing how each orbit of elements is more precise because of this astrometry.

Obsah

Úvod.....	7
1 Planetky.....	8
1.1 Planetky hlavního pásu.....	8
1.2 TNOs (Transneptunická tělesa).....	8
1.3 Blízkozemní Planetky (Near Earth Asteroids).....	9
1.3.1 Typ Amor.....	9
1.3.2 Typ Apollo.....	9
1.3.3 Typ Aten.....	10
2 Historie.....	11
2.1 První objevy planetek.....	11
2.2 Fotografická astrometrie.....	12
2.3 Značení planetek.....	13
2.3.1 Standardní značení.....	14
2.3.2 Komprimované značení.....	14
2.3.3 Definitivní označení planetky.....	15
2.4 Planetky ve 20. století a současnosti.....	16
2.4.1 Hledací programy.....	17
3 Astrometrie CCD snímku.....	20
3.1 Gnomonická projekce.....	20
3.2 Poloha hvězd na snímku.....	22
3.3 Transformace ideálních a měřených standardních souřadnic.....	22
3.3.1 Měřítko.....	22
3.3.2 Transformace.....	23
3.3.3 Metoda nejmenších čtverců.....	24
4 Určení dráhových elementů.....	26
5 Zpracování měření.....	27
5.1 Přístroje.....	27
5.2 Měření.....	27
5.2.1 Planetka (145656).....	27
5.2.2 Planetka 2007 OV.....	30
Závěr.....	34
Literatura.....	35

Úvod

Oči lidstva se upíraly k nebi už od nepaměti. Díky fascinujícímu vesmíru a neustávajícímu zájmu o nebe nad námi máme záznamy o planetách, souhvězdích a důležitých událostech již od pravěku. Se zvyšující se úrovní kvality astronomických pomůcek rostla nejen zvědavost badatelů, ale i možnost zkoumat jevy a tělesa, které nemohly být dosud prozkoumány. V současné době máme možnost pozorovat a zkoumat objekty díky kosmickým sondám, ale i díky dalekohledům, které jsou vybaveny velice výkonnými CCD detektory. Ve sluneční soustavě byly objeveny planetky, které v posledních letech vzbuzují velký zájem, jelikož některé z nich křížují dráhu Země a lidé si uvědomují jejich možnou srážku se Zemí. Právě proto vznikají nové hledací programy, které se využívají na objevy blízkozemních planetek a pro následnou astrometrii. Programy nenacházejí jen blízkozemní planetky, ale i vzdálenější tělesa sluneční soustavy a určují přesnou polohu těles na nebeské sféře. U blízkozemních těles je důležité vědět, jakou budou mít dráhu, tedy znát jejich dráhové elementy s co největší přesností, a tím se zabývá následná astrometrie. Cílem této práce je ukázat, jaký má následná astrometrie vliv na přesnost dráhových elementů blízkozemní planetky.

Kapitola 1

Planetky

Planetky jsou malá pevná tělesa o velikostech desítek metrů až několik tisíc kilometrů, které obíhají kolem Slunce. Největší z planetek mají přibližně kulový tvar, zatímco u menších planetek pozorujeme obvykle tvar nepravidelný. Je to způsobeno tím, že nemají dostatečně silnou vlastní gravitaci. Oběžná dráha většiny planetek je mírně eliptická, tělesa obíhají kolem Slunce po drahách podobných planetárním. Planetky se nacházejí mezi drahami Marsu a Jupiteru - hlavní pás planetek. Také je můžeme najít za drahou Neptunu (TNOs). Ve sluneční soustavě se nacházejí také blízkozemní planetky (NEA), jejichž oběžná dráha je blízko oběžné dráhy Země, a planetky pohybující se uvnitř dráhy Země (IEO - Inner-Earth Object). Planetky se dělí do celé řady skupin a to podle charakteru jejich oběžných drah nebo podle chemického složení a to na základě jejich spektrálních charakteristik a albeda. Také jsou řazeny do tzv. rodin a to podle jejich vzniku. Pojmenovány jsou podle největší či nejznámější planetky, která do dané rodiny patří.

1.1 Planetky hlavního pásu

Planetky hlavního pásu obíhají mezi drahami Marsu a Jupiteru. Velikost hlavní poloosy planetek je od 2 do 3,5 AU. Hlavní pás má tvar toroidu. Rezonanční vliv Jupiteru způsobuje, že některé dráhy jsou nestabilní a to vede ke vzniku mezer, které povětšinou odpovídají místům v hlavním pásu, kde by byl poměr oběžných dob planetky a Jupitera roven poměru malých celých čísel. Tyto mezery nazýváme Kirkwoodovy mezery, podle D. Kirkwooda, který je poprvé popsal v roce 1874.

1.2 TNOs (Transneptunická tělesa)

Planetky TNOs se pohybují za drahou planety Neptun a tvoří takzvaný Kuiperův pás. Planetky Kupierova pásu se dělí podle tvaru dráhy do tří skupin. První z nich jsou klasická transneptunická tělesa nebo-li cubewanos, která se pohybují po drahách s malou výstředností ($e < 0,15$), se sklonem do 30 stupňů a střední vzdáleností od Slunce mezi 42 a 47 AU. Název cubewanos vznikl z anglické výslovnosti podle předběžného označení první objevené planetky tohoto typu 1992 QB1. Další skupinou jsou planetky nazývané plutinos, s drahami

podobnými dráze Pluta, a s větší výstředností ($e > 0,3$). Velikost hlavní poloosy je v rozpětí od 41,8 do 48 AU. Planetky jsou v orbitální rezonanci 3:2 s Neptunem, což znamená, že na dva oběhy plutin připadnou 3 oběhy Neptunu. Poslední skupinou jsou planetky z rozptýleného disku (SDO - Scattered-Disk Objects) s velkou výstředností a s přísluním mezi 30 až 38 AU. V odsunutí se mohou nacházet ve vzdálenostech až několik set AU.

1.3 Blízkozemní Planetky (Near Earth Asteroids)

Blízkozemní planetky někdy označované jako AAA planetky jsou objekty, jejichž přísluní se nachází méně než 1,3 AU od Slunce. Planetky se dostávají do blízkosti Země a některé křížují zemskou dráhu a dokonce se mohou srazit se Zemí. Planetky, které se mohou přiblížit k Zemi na vzdálenost menší než 0,05 AU a mají průměr větší než 150 m dostaly označení jako potenciálně nebezpečné objekty (PHAs - Potentially Hazardous Asteroids). Jestliže se objeví planetka, u které nelze stoprocentně vyloučit budoucí srážku se Zemí v následujících 100 letech, zařadí se do tzv. virtuálních impaktorů a poté se pomocí následné astrometrie zpřesňuje její dráha. Předpokládá se, že blízkozemní planetky jsou jádra komet nebo tělesa vymrštěná z hlavního pásu. Dělí se do tří skupin, které jsou pojmenovány podle prvních nalezených planetek tohoto druhu.

1.3.1 Typ Amor

Planetky tohoto typu jsou pojmenovány podle planetky (1221) Amor, kterou objevil roku 1932 E. Delporte na belgické observatoři Uccle. Amori se přibližují k dráze Země pouze zvnějšku, nekříží ji. Vzdálenosti planetek v perihelu jsou v rozmezí od 1,0 do 1,3 AU a vzdálenosti v afelu jsou poměrně rozlehlé, takže dráhy mnohých z nich křížují dráhu Marsu. Planetka (3552) Don Quixote se vzdaluje od Slunce až do vzdálenosti 7,247 AU. Doba oběhu planetek kolem Slunce je delší než jeden rok.

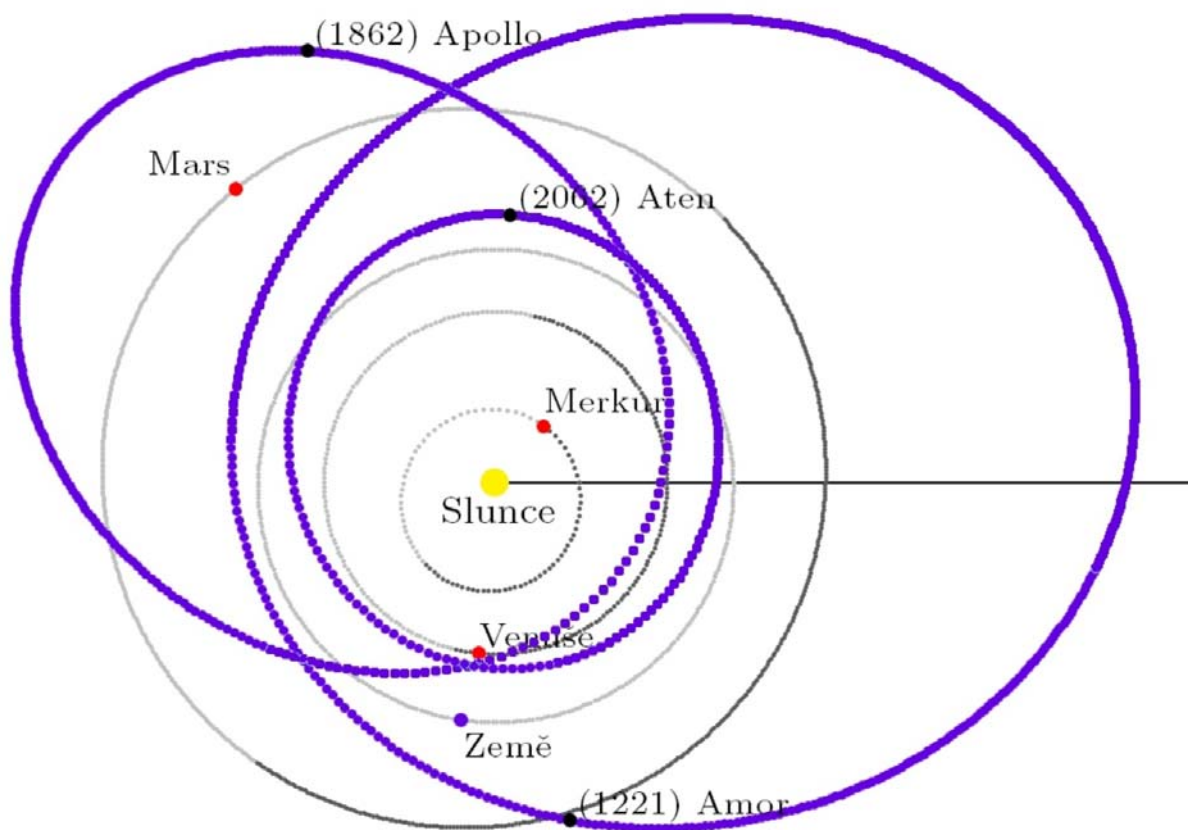
1.3.2 Typ Apollo

Planetky jsou pojmenovány po planetce (1862) Apollo, která byla objevena roku 1932 K. Reinmuthem v německém Heidelbergu. Tato planetka byla pozorována pouze 22 dní a poté byla ztracena. Znovunalezl ji až roku 1973 Richard E. McCrosky a Cheng-Yuan Shao na observatoři Oak Ridge na základě výpočtů Briana G. Marsdena. Apolla kříží dráhu naší planety a v přísluní se dostávají ke Slunci blíže než Země, tedy do vzdálenosti menší

než 1 AU. Velké poloosy jsou větší jak 1 AU a jejich dráhy leží především vně dráhy Země. Perioda oběhu kolem Slunce je delší než jeden rok.

1.3.3 Typ Aten

Tento typ planetek je pojmenován podle planetky (2062) Aten, kterou objevila E. F. Helinová v roce 1976 na Mt. Palomaru v Kalifornii. Ateni jsou tělesa křížující dráhu Země a v perihelu se přibližují ke Slunci více než Země ($q < 1$ AU). Někteří Ateni se dostanou dokonce blíže ke Slunci než Venuše a někdy i výjimečně než Merkur. Velká poloosa je menší než 1 AU a jejich dráhy tedy leží z větší části uvnitř dráhy Země. Doba oběhu kolem Slunce je kratší než jeden rok.



Obrázek. 1. Dráhy tří typů blízkozemních planetek – (1221) Amor, (1862) Apollo, (2062) Aten. Vzdálenost teček v dráze značí čtyřdenní pohyb planetek. Převzato z literatury [26].

Kapitola 2

Historie

2.1 První objevy planetek

S myšlenkou planetárního tělesa, obíhajícího okolo Slunce mezi drahami Marsu a Jupiteru, přišel průkopník astronomie Johannes Kepler už v 16. století. Ve svém díle *Mysterium Cosmographicum* vyslovil názor, že mezi oběžnými drahami Marsu a Jupitera se nachází další těleso, čímž pozměnil známý Platonův pohled na Sluneční soustavu. Johannes Daniel Titius, německý astronom působící v 18. století, se s touto myšlenkou nepřímo ztotožnil a zformuloval empirický zákon. Roku 1772 tento zákon publikoval tehdejší ředitel berlínské hvězdárny Johann Bode. Titius-Bodeovo pravidlo, popisuje střední vzdálenosti tehdy známých šesti planet od Slunce v astronomických jednotkách. Střední vzdálenosti se dají vyjádřit jako posloupnost daná vztahem:

$$r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n, \quad (2.1.1.)$$

kde r je vzdálenost planety od Slunce a $n = (-\infty, 0, 1, 2, 4, 8, 16\dots)$. Dosadíme-li do vzorce, dostaneme posloupnost čísel: 0,4 (Merkur); 0,7 (Venuše); 1 (Země); 1,6 (Mars); 2,8 (?); 5,2 (Jupiter); 10 (Saturn).

Chybějící planeta v posloupnosti dala astronomům impulz k vytvoření nových map hvězdné oblohy. Iniciátorem mapování hvězdné oblohy byl baron von Zach, který sám pátral po chybějící planetě už několik let. V roce 1781 Frederik William Herschel během svého systematického průzkumu oblohy objevil Uran. Střední vzdálenost Uranu od Slunce přesně zapadala do Titius-Bodeova pravidla a tím pádem si byli astronomové jistí, že se mezi Marsem a Jupiterem nachází další planeta, jen ji najít. Zatímco byly rozeslány dopisy pozorovatelům, kteří by byli schopni zmapovat část oblohy, jež jim byla přiřazena, ředitel palermské hvězdárny Guiseppe Piazzi v noci z 31.12.1800 na 1.1.1801 objevil chybějící planetu. Nově objevená „planeta“ dostala jméno Ceres Ferdinandea. Přídomek Ferdinandea ale nebyl uznán. Bohužel reakce barona von Zacha na objev planety byla taková, že ihned přerušil projekt mapování hvězdné oblohy.

Piazziovým pozorováním se nechal inspirovat známý matematik Carl Friedrich Gauss, který vymyslel novou metodu počítání orbitálních drah, kterou v různých obměnách, zjednodušeních a vylepšeních používáme dodnes. Roku 1809 vyšla v Hamburku jeho práce

Teorie pohybu nebeského tělesa kolem Slunce po kuželosečkách. Kniha obsahovala dva svazky. V prvním svazku se zabýval diferenciálními rovnicemi, které popisují části eliptických drah, a v druhém svazku se zaměřil na odhady a zpřesňování odhadů drah planet.

Roku 1802 Wilhem Matthias Olbers při pozorování Cerery narazil na další „planetu“, Pallas. Piazzini se domníval, že průměr Cerery je srovnatelný s průměrem Země. Naproti tomu William Herschel po objevu Pallas předpokládal, že se jedná o malá tělesa, která obíhají kolem Slunce v téměř stejné vzdálenosti a navrhl je pojmenovat asteroidy, čili objekty při pozorování hvězdám podobné. Planetky byly považovány za planety až do poloviny 19. století, kdy vzrostl počet objevů těchto těles a přišla celosvětová změna názorů na jejich velikost. Astronomové rozhodli, že by se tato tělesa měla nazývat minor planets, česky planetky. Dodnes se používá pojmenování planetka i asteroid.

V tomto období byly objeveny ještě dvě další planetky a to (3) Juno Karlem Hardingem a (4) Vesta W.M.Olbersem. Roku 1816 Olbers usoudil, že už žádné další asteroidy nemohou být objeveny a jelikož byl uznáván jako expert na danou problematiku, tak se díky němu objevování a výzkum planetek přerušil na řadu let.

Naštěstí se roku 1830 Karl Ludwig Henke pustil do vizuálního pátrání po nových planetkách. Zakresloval si hvězdné pole viditelné v okuláru a přibližně za hodinu se k zaznamenanému poli vrátil a všiml si všech pohybujících se objektů. Až po patnácti letech pátrání našel svou první planetku (5) Astraea a o dva roky později druhou (6) Hebe.

Koncem roku 1850 bylo známo 13 planetek a až do roku 1870 jich přibývalo asi pět ročně. Na konci 19. století bylo již známo 300 planetek.

2.2 Fotografická astrometrie

Důležitým mezníkem pro vývoj astronomie je rok 1850, kdy W.C. Bond na Harvardské hvězdárně udělal první fotografie Měsíce a Vegy. Roku 1857 získal fotografie hvězdy Mizar a Slunce, na nichž už mohl provést měření, což můžeme považovat za počátek fotografické astrometrie.

V 80. letech 19. století se začaly vyrábět citlivé suché bromoželatinové desky, které při správném zpracování a zacházení uchovávaly obrazy hvězd po několik desetiletí bez změny. V roce 1891 začal Max Wolf na hvězdárně v Heidelbergu využívat fotografování k hledání planetek. Metoda, kterou Wolf používal, spočívala v tom, že nejprve byla hodinu exponována první deska, druhou hodinu druhá deska a pak znovu další hodinu první deska. Trojnásobné obrazy sloužily k rozlišení obrazů objektů od náhodných kazů fotografických emulzí. Poté mohl z exponovaných desek získat planetky až do jasnosti 12,6 mag. Za svého plodného života M. Wolf objevil celkem 228 planetek.

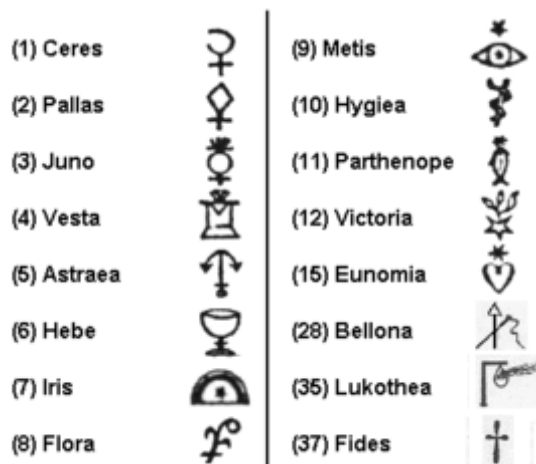
Dalším významným pozorovatelem byl Joel Hastings Metcalf, který vymyslel novou fotografickou metodu. Na rozdíl od Maxe Wolfa pohyboval dalekohledem podle předpokládané rychlosti planetek. Na exponovaných deskách mohl pak získat planetky až do jasnosti 13,5 mag.

Na přelomu století nové objevy planetek rychle přibývaly, a proto byl v roce 1892 zaveden systém pro předběžné značení planetek.

2.3 Značení planetek

Do roku 1850 se planetky označovaly grafickými symboly a dostávaly pouze ženská jména, zejména mytologická. Protože planetek začalo značně přibývat a symboly se stávaly čím dál složitější (viz Obr. 2), bylo rozhodnuto používat číslovací systém. Planetky byly značeny číslem podle pořadí jejich objevu. Roku 1892 byl zaveden systém předběžného značení planetek. Planetce bylo přiřazeno číslo jen tehdy, když byla spočtena její dráha. Nejprve se ke značení používal rok objevu a písmeno od A do Z. První planetka roku 1892 byla označena 1892 A, druhá 1892 B a poslední planetka tohoto roku 1892 V. První planetka následujícího roku dostala označení 1893 W. Po 1893 Z byly další planetky značeny 1893 AA, 1893 AB až 1907 ZZ a pak se opět začalo od začátku 1907 AA. Systém se používal až do ledna 1925.

Poté se objevil nový systém předběžného značení, který používáme dodnes. Předběžné označení přiděluje středisko Minor Planet Center a to po pozorování planetky ve dvou nocích. Existují dvě varianty označení: **standardní a komprimované**.



Obrázek 2. Původní grafické symboly.
Převzato z literatury [11].

2.3.1 Standardní značení

Na prvním místě standardního předběžného označení je čtyřciferné číslo, značící rok objevu. Poté následuje mezera. Po mezeře následuje velké písmeno (nepoužívají se písmena I a Z), které určuje polovinu měsíce pozorování. Takže je rok rozdělen na 24 částí a pro každou část je určité písmeno (značí se podle abecedy). Na posledním místě se nachází další písmeno (nepoužívá se písmeno I), které určuje pořadí v dané polovině měsíce. Pokud je v daném půlměsíci objeveno více než 25 planetek, připojí se ještě za poslední písmeno číslo jako dolní index (může se psát i v základním řádku), přičemž číslo 1 je vyhrazeno 26. - 50. objevu, číslo 2 pak 51. - 75. objevu atd.

Názorný příklad uvedu na planetce 1999 NC₄₃. Tato planetka byla objevena roku 1999, písmeno N znamená, že objev se uskutečnil mezi 1.-15. červencem. Označení C43 určuje pořadí v dané polovině měsíce. Kdyby bylo písmeno C samotné bez indexu, znamenalo by to, že planetka byla objevena jako 3. v pořadí, ale jelikož se index v názvu objevuje, musí se ještě přičíst číslo 1075 ($25 * 43 = 1075$). Po následném sečtení obou čísel vychází, že planetka byla objevena jako 1078 v 1. polovině července roku 1999.

2.3.2 Komprimované značení

Komprimované předběžné značení bylo zavedeno proto, že má vždy stejnou délku sedmi znaků, což je velmi výhodné použít při výpočtech, v databázích nebo v katalogích.

Z komprimovaného značení lze také snadno vyčíst pořadí, ve kterém byla tělesa objevena. První znak je velké písmeno a nahrazuje první dvojici čísel v letopočtu. Písmeno I odpovídá číslu 18, J číslu 19 a K číslu 20. Za prvním znakem následují dvě číslice z konce letopočtu. Čtvrtým znakem je první písmeno ze standardního označení, které určuje polovinu měsíce objevu. Další dva znaky odpovídají dolnímu indexu standardního označení. Jestliže index chybí vloží se dvě nuly. Je-li index v rozmezí hodnot od 1 do 99, vloží se toto číslo a v případě jednociferného čísla se číslo doplňuje číslicí nula. Jestliže je hodnota indexu větší než 99, tak se první dvě čísla z třiciferného čísla nahradí písmenem. Místo 10 se zapíše písmeno A, místo 11 písmeno B atd. Po písmenu Z, což je hodnota 35, následují malá písmena abecedy, tedy místo 36 se zapíše písmeno a, místo 37 písmeno b a postupně se pokračuje až k písmenu z. Poslední místo patří písmenu, které je stejné jako druhé písmeno ve standardním značení, tedy určuje pořadí v dané polovině měsíce.

Ku příkladu v komprimovaném značení planety K02TB6X znamená K02 rok 2002, písmeno T objev v době od 1. do 15. října. Poslední tři znaky B6X informují o pořadí v dané polovině měsíce. Výpočet pořadí je stejný jako u standardního značení. Písmeno X značí pořadí v polovině měsíce – 23. Znaky B6 zastávají funkci indexu, v tomto případě je to číslo 116. Opět vynásobíme číslo 116 číslem 25 a přičteme k němu číslo 23 ($25 * 116 + 23 = 2923$). Planeta tedy byla objevena jako 2923 v první polovině října roku 2002. Standardní označení planety je 2002 TX₁₁₆.

2.3.3. Definitivní označení planety

Definitivní označení planety probíhá, když je dobře pozorována obvykle alespoň při čtyřech opozicích, tedy až po přesném určení její dráhy. Poté jí je přiděleno střediskem Minor Planet Center katalogové číslo a její objevitel může navrhnout pro tuto planetku jméno. Jméno planety samozřejmě musí splňovat určitá pravidla. Délka jména nesmí přesahovat 16 znaků včetně mezer a interpunkce. Mělo by být jednoslovné a hlavně vyslovitelné v jakémkoli jazyce. Jméno nesmí být vulgární, urážlivé či komerční. Nemělo by být příliš podobné jménu jiné planety nebo satelitu planety. Jména osob či událostí, které jsou známé především z politického hlediska se mohou použít nejdříve 100 let po smrti dané osobnosti nebo uplynutí od dané události. Vojenská jména jsou úplně vyloučena.

2.4. Planetky ve 20. století a současnosti

Za důležitý mezník ve vývoji historie planetek můžeme považovat rok 1931, kdy se k Zemi přiblížila již známá blízkozemní planetka (433) Eros, a rok 1932, kdy byla objevena planetka (1221) Amor belgickým astronomem Eugenem Delportem, a planetka (1862) Apollo Karlem Reinmuthem. Jak už bylo zmíněno, Apollo bylo rychle ztraceno a znovunalezeno až roku 1973. Při výpočtu dráhy Amora bylo zjištěno, že jeho přísluní je pouze 1,08 AU. Když se spočetla dráha Apolla, zjistilo se, že protíná dráhu Země i Venuše a její vzdálenost v přísluní je pouze 0,65 AU. Roku 1937 Karl Reinmuth našel další blízkozemní planetku, která se přiblížila Zemi až na 0,005 AU. Byla to planetka Hermes (1937 UB), která se však brzy po objevu ztratila a znovu se našla až roku 2003 projektem LONEOS. Těmito objevy začíná důležitá éra blízkozemních planetek, která mění dosavadní pohled na výskyt planetek ve sluneční soustavě.

Zvýšená podpora vývoje výpočetní techniky za druhé světové války urychlila technický pokrok v této oblasti. V roce 1956 IBM představila svůj tehdy nejmodernější počítač IBM 650. Tento počítač dokázal za jednu vteřinu sečíst 200 desetimístných čísel. Přibližně za dva roky počítač IBM 650 získala univerzita v Cincinnati. Na této univerzitě vzniklo středisko Minor Planet Center v roce 1947 pod vedením Paula Hergeta. Konečně se nemusely všechny výpočty provádět ručně, což ušetřilo spoustu času. Paul Herget za svého působení ve středisku shromáždil více než 170 tisíc astrometrických pozorování a publikoval více než 4000 planetkových cirkulářů (Minor Planet Circulars). Když roku 1978 odešel do důchodu, tak se Minor Planet Center přestěhovalo do Cambridge v Massachutes pod vedením Briana G. Marsdena.

Objevování nových planetek pokračuje a tempo objevu nabírá na rychlosti. Nárůst počtu nově objevených planetek způsobila Schmidtova komora, což byl dalekohled umožňující snímkování větších oblastí hvězdného pole. Roku 1978 bylo známo již 2000 číslovaných planetek a za šest let jich přibylo dalších tisíc. Začátkem 80tých let firma Kodak představila svou novou fotografickou emulzi, která zlepšila citlivost fotografických komor. Od roku 1984 se v planetkové astronomii používá CCD technologie, která znamená pro další průzkum vesmíru neuvěřitelný pokrok. Další neoddlílnou součástí výzkumu planetek jsou hledací programy nebo-li projekty zaměřené na vyhledávání NEO (Near Earth Objects), tedy asteroidů a komet.

2.4.1. Hledací programy

Většina dnes objevovaných planetek připadá na velké hledací programy, které jsou zaměřené na blízkozemní objekty. Některé z nich slouží jak k hledání planetek, tak i k jejich následnému pozorování nebo-li follow-up astrometrii, která má za úkol zpřesňovat dráhu planetek.

Nejvýkonějším hledacím projektem je LINEAR (Lincoln Laboratory Near-Asteroid Research), který má přidělen Minor Planet Center kód 704. S daným MPC kódem vždy souvisí poloha observatoře na Zemi, tj. má význam pro topocentrický výpočet polohy blízkozemních těles. LINEAR využívá vojenské technologie. Dalekohled o průměru 1 m, který je vybavený výkonným CCD detektorem, byl uveden do provozu roku 1998 ve White Sands v Novém Mexiku. O rok později byl k němu přidán druhý stejný dalekohled. Dalekohledy LINEARu jsou součástí dalekohledů, které neustále monitorují kosmický prostor (GEODSS - Ground-based Electro-Optical Deep Space Surveillance) v rámci letectva USA. Nejstarším projektem využívající dalekohled se CCD kamerou je Spacewatch, který začal na dalekohledu o průměru 0,9 m (MPC kód 691) s astrometrií planetek a komet roku 1984 na Kitt Peak v Arizoně. Roku 2000 přibyl k dalekohledu nový teleskop s průměrem 1,8 m (MPC kód 291).

V Arizoně najdeme ještě další dva projekty zaměřené na planetky. První z nich je projekt LONEOS (Lowell Observatory Near-Earth Object Search, MPC kód 699) nacházející se na Anderson Mesa Station. K astrometrii využívá od roku 1993 0,6m Schmidtovu komoru vybavenou CCD detektorem. A druhým je CSS (Catalina Sky Survey, MPC kód 703), který je zaměřený na planetky s neobvyklými drahami. CSS se nachází na Mt. Bigelow v Catalina Mountains v Arizoně a je vybaven klasickou 0,68m Schmitovou komorou. V roce 2004 přibyl další program zaměřený na hledání blízkozemních těles, program SSS (Siding Spring Survey, MPC kód E12). Program vznikl jako součást programu CSS. Nachází se na Siding Spring Observatory v Novém Jižním Walesu v Austrálii. SSS využívá 0,5m Uppsala Schmidt teleskop na hledání planetek a pro následnou astrometrii je vybaven reflektorem o průměru 1 m.

O rok později vznikl další program, také patřící do rodiny CSS. Program se jmenuje MLS (The Mt. Lemmon Survey, MPC kód G96), využívá 1,5m reflektor a nachází se na hoře Mt. Lemmon v Catalina Mountains v Arizoně. Cílem programu je objevovat blízkozemní asteroidy a pomocí následné astrometrie stanovit co nejpřesnější dráhy. Program slouží i k fotometrii a spektroskopii blízkozemních těles. Dalším významným projektem je NEAT (Near Earth Asteroid Tracking) na Maui na Havaji (MPC kód 566) a na Mt. Palomar v Kalifornii (MPC kód 644), který využívá 1,2m dalekohledu MSSS (Maui Space Surveillance Site's) a patří k projektům, které každou noc systematicky prohledávají oblohu.

V současné době se v USA připravuje nový projekt PanSTARRS (the Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System), který bude dalším důležitým mezníkem nejen při objevování planetek. PanSTARRS by měl objevit celkem až 100 000 NEO a miliony planetek hlavního pásu.

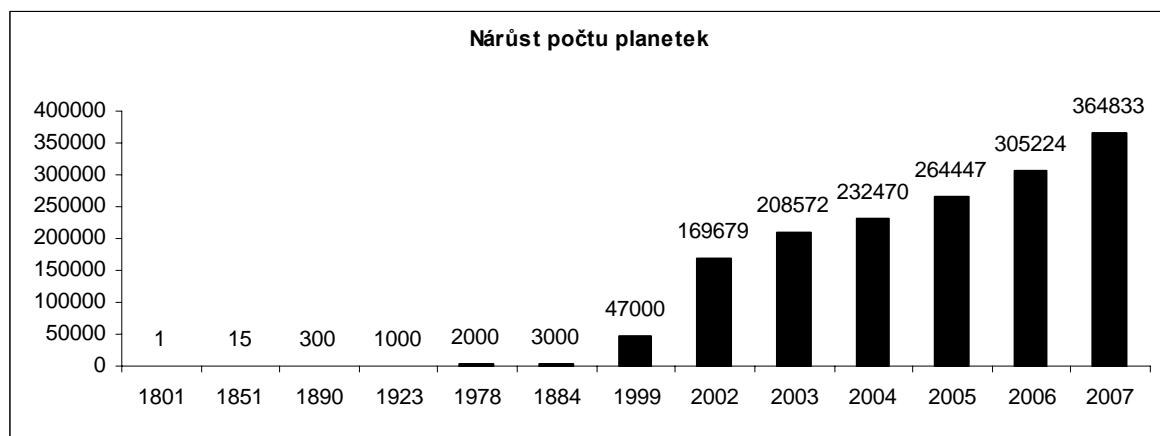
V tabulce 2.4.1. je podrobný číselný souhrn objevů planetek za posledních 5 let. Data o počtu nalezených planetek byly získány ze statistiky na internetových stránkách Minor Planet Center (viz [12]), kde se objevy každý měsíc aktualizují.

Datum	Celkový počet	Očíslované	Ve více opozicích	V jedné opozici	Pojmenované
1.1.2002	169679	34992	83520	51167	9020
1.1.2003	208572	52224	95471	60877	10190
1.1.2004	232470	73636	96225	62609	11084
1.1.2005	264447	96154	103053	65240	12065
1.1.2006	305224	120437	117645	67142	12890
1.1.2007	364833	147951	143939	72943	13554

Tabulka 2.4.1. Objevené planetky za posledních pět let.

Čtvrtý sloupec nazvaný „Ve více opozicích“, vyjadřuje planetky, které byly pozorovány v několika opozicích, ale naměřená data nestačí pro výpočet jejich drah potřebné k očíslování. Jestliže jsou naměřená data dostačující pro výpočet přesných drah, poté mohou být planetky očíslovány a následně i pojmenovány.

V následujícím grafu je zobrazeno shrnutí nárůstu počtu objevených planetek. Tyto počty standardně uvádějí všechny informační zdroje o planetkách. Data z posledních deseti let jsou získány ze statistiky Planet Minor Center.



Graf 2.4.1. Nárůst počtu planetek od první objevené planetky do současnosti.

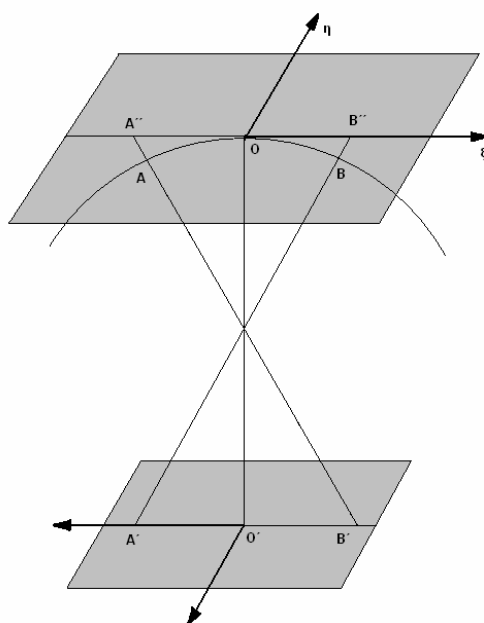
Kapitola 3

Astrometrie CCD snímku

Abychom mohli určit sférické souřadnice planety ze CCD snímku, kterými jsou v našem případě rovníkové souřadnice druhého druhu, rektascenze α a deklinace δ , nejprve musíme zjistit jakým způsobem se zobrazí na rovinu snímku. Průmět kulové sféry na tečnou rovinu se nazývá gnomonická projekce.

3.1. Gnomonická projekce

Pro vztah mezi sférickými souřadnicemi α , δ hvězd na nebeské sféře a pravoúhlými souřadnicemi x , y (měřené standardní souřadnice) obrazu těchto hvězd na snímku zavádíme tzv. ideální (standardní) souřadnice ξ , η . Ideální souřadnice určují tečnou rovinu snímku σ , viz. Obrázek 4., která je rovnoběžná s rovinou CCD čipu. Tečná rovina se dotýká nebeské sféry v bodě O o souřadnicích α_0 a δ_0 , do kterého směřuje optická osa ze středu roviny (z bodu O') CCD čipu. Body A a B na nebeské sféře představují hvězdy o souřadnicích α a δ , jejich projekce na rovinu CCD čipu je A' a B' a projekce do tečné roviny je A'' a B'' .



Obrázek 3.: Gnomonická projekce.

Transformační rovnice rovníkových souřadnic druhého druhu a ideálních souřadnic tedy vycházejí z rovnic sférické trigonometrie, užitím sférické sinové věty a sférické kosinové věty.

Transformační vztah pro ξ :

$$\xi = \frac{\cot \delta \sin(\alpha - \alpha_0)}{\sin \alpha_0 + \cot \delta \cos \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)} = \frac{\cos \delta \sin(\alpha - \alpha_0)}{\sin \alpha_0 \sin \delta + \cos \delta \cos \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)}. \quad (3.1.2.)$$

Transformační vztah pro η :

$$\eta = \frac{\cos \delta_0 - \cot \delta \sin \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)}{\sin \alpha_0 + \cot \delta \cos \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)} = \frac{\cos \delta_0 \sin \delta - \cos \delta \sin \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)}{\sin \alpha_0 \sin \delta + \cos \delta \cos \delta_0 \cos(\alpha - \alpha_0)}. \quad (3.1.3.)$$

Jak už bylo řečeno, tak α_0 a δ_0 jsou souřadnice bodu O, ve kterém se tečná rovina dotýká nebeské sféry, ale i souřadnice středu snímku.

Chceme-li vypočítat sférické souřadnice z gnomonických souřadnic musíme použít inverzní transformaci vztahu:

$$\cot \delta \sin(\alpha - \alpha_0) = \frac{\xi \sec \delta_0}{\eta + \tan \delta_0} = \frac{\xi}{\eta \cos \delta_0 + \tan \delta_0 \cos \delta_0}, \quad (3.1.4.)$$

$$\cot \delta \cos(\alpha - \alpha_0) = \frac{1 - \eta \tan \delta_0}{\eta + \tan \delta_0}. \quad (3.1.5.)$$

Po menší úpravě dostaneme vztah:

$$\tan(\alpha - \alpha_0) = \frac{\eta \cos \delta_0 + \tan \delta_0 \cos \delta_0}{\xi}, \quad (3.1.6.)$$

$$\tan \delta = \frac{\eta + \tan \delta_0}{1 + \eta \tan \delta_0} \cos(\alpha - \alpha_0). \quad (3.1.7.)$$

Jestliže máme malé zorné pole, což znamená, že

$$[\alpha - \alpha_0] \ll 0,1 \text{ rad a } [\delta - \delta_0] \ll 0,1 \text{ rad}, \quad (3.1.8.)$$

tak vztahy (3.1.2.), (3.1.3.) můžeme aproximovat:

$$\xi \approx (\alpha - \alpha_0) \cos \delta_0, \quad (3.1.9.)$$

$$\eta \approx (\delta - \delta_0). \quad (3.1.10.)$$

V našem případě potřebujeme inverzní aproximovanou transformaci:

$$(\alpha - \alpha_0) \approx \xi \sec \delta_0 \rightarrow \alpha \approx \alpha_0 + \frac{\xi}{\cos \delta_0} \quad (3.1.11.)$$

$$\delta \approx \delta_0 + \eta \quad (3.1.12.)$$

Zorné pole dalekohledu, kterým byly získány snímky je $0,287^\circ$, tudíž k výpočtu můžeme použít aproximovaných vztahů.

3.2. Poloha hvězd na snímku

Měřené standardní souřadnice x , y snímku, které získáme v astrometrickém programu nejsou dostatečně přesné. Jestliže určíme střed hvězdy, nestačí vzít pouze pixel s největší intenzitou, ale pixely v okolí hvězdy ze kterých vypočítáme fotometrické těžiště hvězdy:

$$x = \frac{\sum w_{mn} m}{\sum w_{mn}} \quad (3.1.13.)$$

$$y = \frac{\sum w_{mn} n}{\sum w_{mn}}, \quad (3.1.14.)$$

kde m a n jsou celočíselné hodnoty pixelů, tedy hodnoty souřadnic a w_{nm} je váha, kterou je intenzita hvězdy upravená o hodnotu pozadí v okolí hvězdy.

3.3. Transformace ideálních a měřených standardních souřadnic

Měřené standardní souřadnice x , y se od ideálních gnomonických souřadnic ξ , η poměrně liší a to z několika důvodů. Souřadnice jsou vůči sobě posunuty a pootočený. Ideální souřadnice jsou v jiných jednotkách než měřené souřadnice a tudíž mají i jiné měřítko. I jejich počátky jsou odlišné.

3.3.1 Měřítko

Abychom mohli získat stejné jednotky u ideálních souřadnic jako jsou u měřených souřadnic, musíme ideální souřadnice opravit o měřítko c . Toto měřítko získáme podílem vzdáleností mezi n -tou a m -tou hvězdou. Vzdálenosti hvězd dosazujeme v ideálních a naměřených souřadnicích. Pro výpočet měřítka platí vztah:

$$c = \sqrt{\frac{(\xi_n - \xi_m)^2 + (\eta_n - \eta_m)^2}{(x_n - x_m)^2 + (y_n - y_m)^2}}, \quad (3.3.15.)$$

kde indexy $n, m = 1 \dots N$. Po dosazení několika vzdáleností srovnávacích hvězd získáme aritmetickým průměrem měřítko v jednotkách pixel na úhlovou vteřinu nebo v jednotkách úhlová vteřina na pixel.

Měřítka by šlo také vypočítat minimalizační metody nejmenších čtverců. Tato metoda, u níž by sme došli k soustavě nelineárních rovnic, je sice přesnější, ale početně náročná a proto použijeme pro výpočet měřítka předchozích vztahů.

Nyní máme souřadnice ve stejném měřítku, ale stále jsou vůči sobě posunuté a pootočené. V tomto případě použijeme dvourozměrnou lineární transformaci.

3.2.2. Transformace

Jestliže jsou ideální souřadnice ξ, η oproti měřeným souřadnicím x, y pootočený o úhel α a jsou vzájemně posunuty o hodnoty x_0, y_0 platí pro ně vztahy:

$$\xi = c(x_0 + Bx - Ay) \quad (3.1.16.)$$

$$\eta = c(y_0 + Ax + By), \quad (3.1.17.)$$

kde c je měřítko, $A = \sin \alpha$ a $B = \cos \alpha$.

V maticovém zápisu:

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} = c \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + c \begin{pmatrix} B & -A \\ A & B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (3.1.18.)$$

Ve vektorové formě:

$$\vec{r}_{(\xi, \eta)} = c(\vec{r}_0 + M\vec{r}_{(x, y)}), \quad (3.1.19.)$$

kde $\vec{r}_{(\xi, \eta)}$ je polohový vektor ideálních souřadnic, \vec{r}_0 je polohový vektor vzájemného posunutí souřadnic, $\vec{r}_{(x, y)}$ je polohový vektor měřených souřadnic a M je matice otočení:

$$M = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (3.1.20.)$$

V transformaci se objevují čtyři neznámé x_0, y_0, A a B . Tyto hodnoty se nazývají deskové konstanty. Potřebujeme najít co nejpřesnější hodnoty konstant, abychom docílili toho, že se budou ideální souřadnice překrývat s naměřenými souřadnicemi nebo alespoň budou ležet

ve své blízkosti. K minimalizování vzdálenosti mezi souřadnicemi, tedy k nalezení deskových konstant použijeme metodu nejmenších čtverců.

3.2.3. Metoda nejmenších čtverců

Chceme docílit, aby součet čtverců odchylek byl pro všechny body měření minimální. Jestliže budeme vycházet z transformačních rovnic, které jsou vynásobené měřítkem:

$$\xi = c(x_0 + Bx - Ay) = C + Bx' - Ay' \quad (3.2.21.)$$

$$\eta = c(y_0 + Ax + By) = D + Ax' + By', \quad (3.2.22.)$$

potom pro N hvězd bude součet čtverců ve tvaru:

$$S = \sum_{i=1}^N \left\{ \left[(C + Bx'_i - Ay'_i) - \xi_i \right]^2 + \left[(D + Ax'_i + By'_i) - \eta_i \right]^2 \right\} \quad (3.2.23.)$$

Funkci S(ABCD) minimalizujeme tak, že parciální derivace funkce podle proměnných A,B,C,D budou rovny nule. Minimum se bude nacházet v bodě pro něž platí:

$$\frac{\partial S}{\partial A} = 0 \quad \frac{\partial S}{\partial B} = 0 \quad \frac{\partial S}{\partial C} = 0 \quad \frac{\partial S}{\partial D} = 0, \quad (3.2.24.)$$

Po dosazení do parciálních derivací dostaneme následující vztahy:

$$\frac{\partial S}{\partial A} = \sum_{i=1}^N 2 \left[(C + Bx'_i - Ay'_i - \xi_i)(-y'_i) + (D + Ax'_i + By'_i - \eta_i)(x'_i) \right] = 0 \quad (3.2.25.)$$

$$\frac{\partial S}{\partial B} = \sum_{i=1}^N 2 \left[(C + Bx'_i - Ay'_i - \xi_i)(x'_i) + (D + Ax'_i + By'_i - \eta_i)(y'_i) \right] = 0 \quad (3.2.26.)$$

$$\frac{\partial S}{\partial C} = \sum_{i=1}^N 2(C + Bx'_i - Ay'_i - \xi_i) = 0 \quad (3.2.27.)$$

$$\frac{\partial S}{\partial D} = \sum_{i=1}^N 2(D + Ax'_i + By'_i - \eta_i) = 0 \quad (3.2.28.)$$

Pomocí dalších matematických úprav dostaneme:

$$-C \sum_{i=1}^N y'_i + A \sum_{i=1}^N (y'_i)^2 + (x'_i)^2 + D \sum_{i=1}^N x'_i = \sum_{i=1}^N \eta_i x'_i - \xi_i y'_i \quad (3.2.29.)$$

$$C \sum_{i=1}^N x'_i + B \sum_{i=1}^N (x'_i)^2 + (y'_i)^2 + D \sum_{i=1}^N y'_i = \sum_{i=1}^N \xi_i x'_i + \eta_i y'_i \quad (3.2.30.)$$

$$NC + B \sum_{i=1}^N x'_i - A \sum_{i=1}^N y'_i = \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (3.2.31.)$$

$$ND + A \sum_{i=1}^N x'_i + B \sum_{i=1}^N y'_i = \sum_{i=1}^N \eta_i \quad (3.2.32.)$$

Soustavu lineárních rovnic napíšeme v maticovém tvaru:

$$HI = V, \quad (3.2.33.)$$

kde

$$H = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N (x'_i)^2 + (y'_i)^2 & 0 & -\sum_{i=1}^N y'_i & \sum_{i=1}^N x'_i \\ 0 & \sum_{i=1}^N (x'_i)^2 + (y'_i)^2 & -\sum_{i=1}^N x'_i & \sum_{i=1}^N y'_i \\ -\sum_{i=1}^N y'_i & \sum_{i=1}^N x'_i & N & 0 \\ \sum_{i=1}^N x'_i & \sum_{i=1}^N y'_i & 0 & N \end{pmatrix}, \quad (3.2.34.)$$

$$I = \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix}, \quad (3.2.35.)$$

$$V = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^N \eta_i x'_i - \xi_i y'_i \\ \sum_{i=1}^N \xi_i x'_i + \eta_i y'_i \\ \sum_{i=1}^N \xi_i \\ \sum_{i=1}^N \eta_i \end{pmatrix}. \quad (3.2.36.)$$

Po dosazení do předchozích vztahů dostaneme námi hledané deskové konstanty. A poté už není problém vypočítat rektascenzi α a deklinaci δ planety.

Kapitola 4

Určení dráhových elementů

K jednoznačnému popisu dráhy planety potřebujeme znát dráhové elementy. Hlavní poloosa a a numerická excentricita e popisují tvar a velikost elipsy. Sklon dráhy i tělesa k ekliptice určuje orientaci elipsy v prostoru, tedy vzhledem k rovině dráhy Země. Délka perihélia ω a délka výstupního uzlu Ω jsou úhly, které určují polohu roviny dráhy v prostoru. Moment průchodu perihéliem T stanovuje polohu planety na dráze v čase. Pravá anomálie v a střední anomálie M_0 jsou úhly, který se udávají pro určitý okamžik, epochu. Do dráhových elementů můžeme zařadit i střední denní pohyb n a dobu oběhu P , které lze vypočítat z hlavní poloosy.

Jestliže je možnost planety pozorovat alespoň tři noci, používá se pro výpočet dráhy Gaussova metoda. Tři pozorování ve třech nocích nám stačí k tomu, abychom mohli jednoznačně spočítat kuželosečku, po které se těleso pohybuje. K určení dráhových elementů planety z pozorovacích dat z jedné nebo dvou nocí se používá metoda Väisälä. Dráhové elementy spočtené metodou Väisälä nám dávají předpověď pro určitý čas, kde se planeta bude nacházet. Tedy je to metoda pro znovunalezení planety v blízkém budoucím čase, nikoliv pro přesné určení dráhových elementů.

Kapitola 5

Zpracování měření

Ještě než jsme se dostali k samotnému pozorování, bylo zapotřebí zjistit efemeridy vybraných planetek, které se dají zjistit na internetových stránkách Minor Planet & Comet Ephemeris Service. Na těchto stránkách nalezneme přesnou efemeridu pro čas pozorování, a to topocentricky. Ještě bylo nutné určit délku expozice s ohledem na rychlost planety, aby na snímku nepřesáhla jeden pixel. Poté byly snímky ošetřeny tzv. temným snímkem (dark frame), a tzv. snímkem flat field, což je obraz rovnoměrně osvětleného pozadí. Podle kapitoly 3 byly vypočítány rovníkové souřadnice druhého druhu a následně byly vypočítané hodnoty poslány do planetkového střediska. Na stránkách NeoDys (Near Earth Objects - Dynamic Site, viz [15]) jsme pozorovali jak se zpřesnily dráhové elementy planety.

5.1. Přístroje

Snímky byly získány teleskopem na observatoři na Kraví hoře (MonteBoo Observatory, MPC kód 616) v Brně. Na observatoři Kraví hora je hlavním teleskopem Newtonův reflektor s průměrem primárního zrcadla 0,62 m a s CCD kamerou ST-8 s KAF-1600 čipem. Ohnisková vzdálenost reflektoru je 2,78 m. Ke zpracování snímků planety (145656) byl použit program Astrometrica, Verze 4.4.1.364.

5.2. Měření

5.2.1. Planetka (145656)

Planetka (145656) 4788P-L je typu Amor, kterou objevili 24.9.1960 na Mt. Palomaru 7v Kalifornii astronomové C. J. van Houten, I. van Houten-Groeneveld a T. Gehrels. Její dráha a tedy i dráhové elementy jsou již dobře známy a proto po zaslání vypočítaných hodnot se chyba elementů nezměnila. Chyba je zde myšlena jako rozptyl (variance) σ^2 , který udává míru odchylky hodnot od střední hodnoty:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (3.2.37.)$$

Ze snímků byly získány tyto hodnoty:

Datum	Čas	α	δ
12.4.2007	22:53:44	13:58:14,05	+03:36:07,8
12.4.2007	22:56:06	13:58:14,03	+03:36:10,3
12.4.2007	22:59:28	13:58:14,00	+03:36:14,7
12.4.2007	23:05:50	13:58:13,95	+03:36:21,5

Tabulka 5.2.2.: Spočtená rektascenze α a deklinace δ planety (145656).

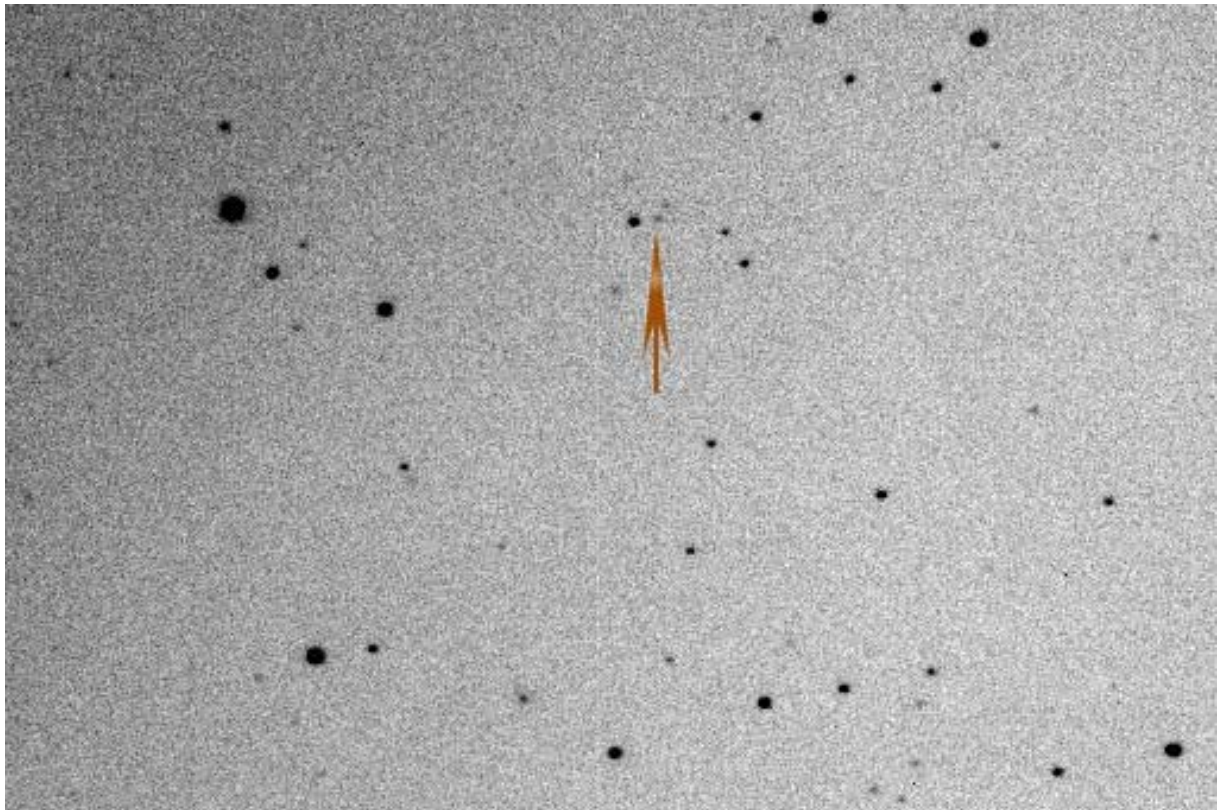
Dráhové elementy v následující tabulce 5.2.3. jsou získány z 217 pozorování. Rozptyly jsou zde malé a tedy dráha planety je určena přesně. V tabulce 5.2.4. jsou pro porovnání dráhové elementy stejné planety s odstupem času půl roku a jsou získány z 809 pozorování. Dráhové elementy se sice o něco více zpřesnily, ale s porovnáním s tím, kolik přibýlo pozorování, je vidět, že jedno naše pozorování nemohlo výsledek ovlivnit. Epocha v tabulkách je v modifikovaném juliánském datu (MJD).

EPOCHÁ-MJD 54200		
Dráhové elementy z NeoDys		σ^2
a (AU)	2.62831	1.725e-08
e (°)	0.561262	3.937e-08
i (°)	11.031	3.7306e-05
Ω (°)	176.838	5.978e-06
ω (°)	97.899	2.938e-05
M (°)	339.357	4.210e-06

Tabulka 5.2.3.

EPOCHÁ-MJD 54400		
Dráhové elementy z NeoDys		σ^2
a (AU)	2.62864	1.721e-08
e (°)	0.561301	3.745e-08
i (°)	11.031	5.867e-06
Ω (°)	176.829	2.867e-05
ω (°)	97.91	3.602e-05
M (°)	25.615	4.22e-06

Tabulka 5.2.4.



Obrázek 5.: Snímek planety (145656) pořízený 12.4.2007, 22:53:44 UT v Brně.

5.2.2. Planetka 2007 OV

Planetka 2007 OV byla objevena 16.7.2007 programem Siding Spring Survey a je typu Amor. U této planety nebyly pořízeny snímky s ohledem na její polohu na obloze (deklinace – 33 stupňů), ale bylo tři měsíce pozorováno, jak se při každých nových přidávaných pozorování na stránkách NeoDys (viz [15]) zpřesňují dráhové elementy planety pro určitou epochu. Pod každou tabulkou je zapsané, kolik dní uplynulo od data objevu (délka oblouku) a také kolik pozorování se uskutečnilo od objevení planety do data posledního pozorování.

Na pozorování se podílely observatoře Siding Spring Survey (MPC kód E12); Mount John Observatory, Lake Tekapo (MPC kód 474); Tiki Observatory, Punaauia (MPC kód F85); Hibiscus Observatory, Punaauia (MPC kód F84); Shenton Park (MPC kód D21); Astronomical Research Observatory, Charleston (MPC kód H55); Greiner Research Observatory, Verona (MPC kód H51); Catalina Sky Survey (MPC kód 703), Stia (MPC kód A78); Lumezzane (MPC kód 130); Steward Observatory, Kitt Peak-Spacewatch (MPC kód 691); Mt. Lemmon Survey (MPC kód G96); Purple Mountain Observatory, XuYi Station (MPC kód D29); Petit Jean Mountain South (MPC kód H45); Lincoln Laboratory ETS, NewMexico(MPC kód 704); Lowell Observatory-LONEOS (MPC kód 699); Goodricke-Pigott Observatory, Tucson (MPC kód 683); Observatorio de Begues (MPC kód 170); Peschiera del Garda (MPC kód A53); New Millennium Observatory, Mozzate (MPC kód A24); McDonald Observatory, Fort Davis (MPC kód 711). Stejně jako v tabulce 5.2.3 je epocha v MJD.

EPOCHA 54200		
Drahové elementy		σ^2
a (AU)	2.70596	0.3965
e (°)	0.522161	0.0621
i (°)	12.153	2.206
Ω (°)	356.818	6.51
ω (°)	324.625	19.85
M (°)	334.183	7.16

Tabulka 5.2.5.

Délka oblouku (dny) = 2
Pozorování = 18

EPOCHA 54200		
Drahové elementy		σ^2
a (AU)	2.49886	0.03016
e (°)	0.487436	0.005373
i (°)	12.711	0.05233
Ω (°)	353.791	0.1091
ω (°)	333.073	0.1662
M (°)	329.213	0.5786

Tabulka 5.2.6.

Délka oblouku (dny) = 10
Pozorování = 22

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47798	0.00323
e (°)	0.483661	0.0005831
i (°)	12.673	0.006756
Ω (°)	353.72	0.009211
ω (°)	333.155	0.01454
M (°)	19.344	0.03686

Tabulka 5.2.7.

Délka oblouku (dny) = 21
Pozorování = 25

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47799	0.0005362
e (°)	0.483662	9.633e-05
i (°)	12.673	0.001338
Ω (°)	353.72	0.000978
ω (°)	333.154	0.002307
M (°)	19.345	0.006265

Tabulka 5.2.8.

Délka oblouku (dny) = 39
Pozorování = 40

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.478	0.0005042
e (°)	0.483663	9.056e-05
i (°)	12.673	0.001267
Ω (°)	353.72	0.0008891
ω (°)	333.154	0.002157
M (°)	19.345	0.005891

Tabulka 5.2.9.

Délka oblouku (dny) = 39
Pozorování = 50

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47825	0.0003227
e (°)	0.483709	5.778e-05
i (°)	12.674	0.0008549
Ω (°)	353.72	0.0004896
ω (°)	333.155	0.001358
M (°)	19.341	0.003808

Tabulka 5.2.10.

Délka oblouku (dny) = 47
Pozorování = 52

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47813	0.000185
e (°)	0.483687	3.301e-05
i (°)	12.674	0.0005185
Ω (°)	353.72	0.0002265
ω (°)	333.155	0.000745
M (°)	19.343	0.002197

Tabulka 5.2.11.

Délka oblouku (dny) = 54
Pozorování = 65

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47817	0.0001293
e (°)	0.483695	2.301e-05
i (°)	12.674	0.0003779
Ω (°)	353.72	0.0001252
ω (°)	333.155	0.0004914
M (°)	19.342	0.001534

Tabulka 5.2.12.

Délka oblouku (dny) = 59
Pozorování = 94

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47815	0.0001113
e (°)	0.48369	1.976e-05
i (°)	12.674	0.0003308
Ω (°)	353.72	9.807e-05
ω (°)	333.155	0.0004074
M (°)	19.342	0.001318

Tabulka 5.2.13.

Délka oblouku (dny) = 63
Pozorování = 114

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47817	0.0001059
e (°)	0.483693	1.88e-05
i (°)	12.674	0.0003165
Ω (°)	353.72	9.125e-05
ω (°)	333.155	0.0003818
M (°)	19.342	0.001254

Tabulka 5.2.14.

Délka oblouku (dny) = 66
Pozorování = 120

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.4782	9.885e-05
e (°)	0.483699	1.754e-05
i (°)	12.674	0.0002975
Ω (°)	353.72	8.283e-05
ω (°)	333.156	0.000348
M (°)	19.342	0.00117

Tabulka 5.2.15.

Délka oblouku (dny) = 68
Pozorování = 129

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47823	9.238e-05
e (°)	0.483704	1.639e-05
i (°)	12.674	0.0002788
Ω (°)	353.72	7.702e-05
ω (°)	333.155	0.0003116
M (°)	19.341	0.001091

Tabulka 5.2.16.

Délka oblouku (dny) = 76
Pozorování = 133

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47818	7.945e-05
e (°)	0.483695	1.409e-05
i (°)	12.674	0.0002408
Ω (°)	353.72	6.635e-05
ω (°)	333.155	0.0002388
M (°)	19.342	0.0009323

Tabulka 5.2.17.

Délka oblouku (dny) = 85
Pozorování = 143

EPOCHA 54400		
Dráhové elementy		σ^2
a (AU)	2.47821	6.363e-05
e (°)	0.483701	1.129e-05
i (°)	12.674	0.0001923
Ω (°)	353.72	5.398e-05
ω (°)	333.155	0.0001486
M (°)	19.342	0.0007339

Tabulka 5.2.18.

Délka oblouku (dny) = 114
Pozorování = 174

Závěr

Tato práce se věnovala CCD astrometrii a zároveň následné astrometrii blízkozemních planetek a jejímu vlivu na přesnost dráhových elementů. Byly studovány dvě blízkozemní planetky, jedna očíslovaná planetka (145656) a druhá nově objevená planetka 2007 OV. Ze snímků planetky (145656) byly pomocí gnomonické projekce, tedy průmětu kulové sféry na tečnou rovinu, zjištěny rovníkové souřadnice druhého druhu. Souřadnice byly poslány do planetkového střediska (Minor Planet Center) a na stránkách NeoDys jsme pozorovali jestli se díky našim poslaným datům (tabulka 5.2.3.) dráhové elementy nezměnily. Jelikož je planetka (145656) očíslovaná a tedy musí mít přesně určenou dráhu, nebylo překvapením, když se její dráhové elementy opravdu nezměnily (tabulka 5.2.4.).

U druhé planetky 2007 OV jsme zaznamenávali vývoj dráhových elementů od jejího objevu. V tabulce 5.2.5., tedy dva dny po objevu jsou chyby dráhových elementů poměrně velké, je to způsobeno tím, že dráhové elementy byly vypočítány z naměřených dat pouze ze 16 pozorování. Zatímco v poslední tabulce 5.2.18. je rozptyl dráhových elementů menší, ale zdaleka ne tak jako u číslované planetky. Je zde názorně vidět, že čím více je naměřených dat, tím přesněji je určena dráha planetky, a to je úkolem následné astrometrie.

Literatura

- [1] Blažko S.N.: Praktická astronomie, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1956.
- [2] Guth Vl., Link F., Mohr J. M., Šternberk B.: Astronomie I., Nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1954.
- [3] Hroch F.: Astronomické praktikum, Brno 2006.
- [4] Mikulášek Z.: Metoda nejmenších čtverců a její aplikace.
- [5] Taff L.G.: Computational Spherical Astronomy, J. Wiley and Sons, New York 1981.
- [6] Tichá J., Tichý M., Kočer M.: The recovery as an important part of NEO astrometric follow-up, Icarus, Vol.159, No. 2, October 2002, pp. 351- 357.
- [7] Tichá J., Tichý M., Moravec Z.: The importance of follow-up observations for newly discovered NEOs, Planetary And Space Science Vol.48, no.10 (2000) pp. 955-959.
- [8] Tichý M.: Objev planety Ceres Ferdinandea, nepublikováno.
- [9] <http://adsabs.harvard.edu/abs/2007MPC..59866...3J>
- [10] <http://asteroid.lowell.edu/>
- [11] <http://cs.wikipedia.org>
- [12] <http://cfa-www.harvard.edu/iau/lists/ArchiveStatistics.html>
- [13] <http://neat.jpl.nasa.gov/>
- [14] <http://neo.jpl.nasa.gov>
- [15] <http://newton.dm.unipi.it/cgi-bin/neodys/neoibo>
- [16] <http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/>
- [17] <http://planetky.astro.cz>
- [18] <http://spacewatch.lpl.arizona.edu/>
- [19] <http://www.astronomie.cz>
- [20] <http://www.cfa.harvard.edu/iau/mpc.html>
- [21] <http://www.ian.cz>

- [22] <http://www.lib.cas.cz/space.40/INDEX1.HTM>
- [23] <http://www.ll.mit.edu/LINEAR/>
- [24] http://www.lowell.edu/users/elgb/loneos_disc.html
- [25] <http://www.lpl.arizona.edu/css/>
- [26] <http://www.planetky.cz/>