

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta – Katedra fyziky

Transneptunická tělesa

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Petr Jelínek, Ph.D.

Autor: Bc. Martin Pihera

Anotace:

Cílem této diplomové práce je vytvořit přehled, který by shrnul stávající poznatky o transneptunických tělesech. Tento přehled pak umožní pochopit poznatky plynoucí z výzkumu transneptunických tělesech. Shrnutím známých faktů je vytvořen základní přehled o pokrocích a dalších směrech vývoje v oblasti studia transneptunických těles.

Abstract:

Main goal of this diploma is to create an essential summary of a current state in the field of transneptunian objects. This review enables understanding the findings about the transneptunian objects. The summary creates a review of advance and progress tendency in research in the area of transneptunian objects.

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 24. dubna 2009.

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Petru Jelínkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při zpracování mé práce, dále za zajištění možnosti provedení pozorování na observatoři Astronomického ústavu Akademie věd ČR v Ondřejově.

Pracovníkům observatoře Mgr. Peterovi Kušnirákovi a Kamilu Hornochovi za vřelé přijetí, umožnění provedení vlastního pozorování a neocenitelný dohled s radami a připomínkami.

Obsah

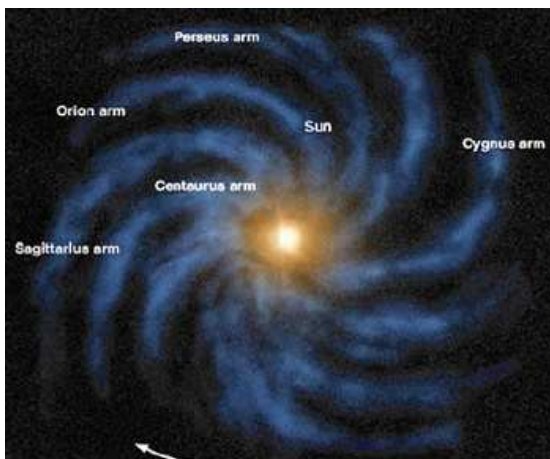
1. Sluneční soustava, základní přehled	7
1.1. Poloha v Galaxii	7
1.2. Slunce, jeho vznik a některé vlastnosti	7
1.3. Velká tělesa sluneční soustavy	8
1.3.1. Merkur	10
1.3.2. Venuše	10
1.3.3. Země	10
1.3.4. Mars	11
1.3.5. Jupiter	11
1.3.6. Saturn	11
1.3.7. Uran	11
1.3.8. Neptun	11
1.4. Tělesa neplanetárního typu	12
1.4.1. Pás asteroidů mezi Marsem a Jupiterem	13
1.4.2. Asteroidy uvnitř oběžné dráhy Země a blízkozemní asteroidy	13
1.4.3. Tělesa kometárního typu	16
1.4.3.1. Oortův oblak komet	18
1.4.4. Kosmický prach	19
2. Tělesa za oběžnou drahou Jupitera a Neptuna	20
2.1. Teorie vzniku Kuiperova pásu a historie jeho objevu	22
2.2. Pátrání po dalších objektech	24
2.3. První objevy transneptunických těles	25
2.4. Kentauři	27
2.5. Objekty rozptýleného disku – SDOs	29
2.5.1. (136199) Eris	30
2.6. Objekty Kuiperova pásu	33
2.7. Pluto a Charon a extrémně jasná TNO z roku 2005	34
2.7.1. (134340) Pluto	34
2.7.1.1. Přirozené satelity Pluta	38
2.7.2. Charón	39
2.7.2.1. Soustava Pluto – Charón	42
2.7.3. Extrémně jasná TNO z roku 2005	43

2.7.4. Objekt 2003 EL61 – (136108) Haumea	44
2.7.5 Vybrané zajímavé objekty Kuiperova pásu	39
2.7.5.1. Podivný objekt (2008 KV42) Dracula	47
2.7.5.2. (90482) Orcus	49
2.7.5.3. (50000) Quaoar	51
2.7.2.4. (136472) Makemake	52
3. Astronomický ústav AVČR v Ondřejově	54
3.1. Historie	54
3.2. Pozorování v Ondřejově	55
3.2.1. Nezbytné úkony k pozorování TNO	55
3.3. Vlastní pozorování	57
3.3.1. Fotometrie Makemake	57
4. Závěr	66
5. Seznam obrázků	67
6. Seznam grafů	69
7. Seznam tabulek	70
8. Použitá literatura	71

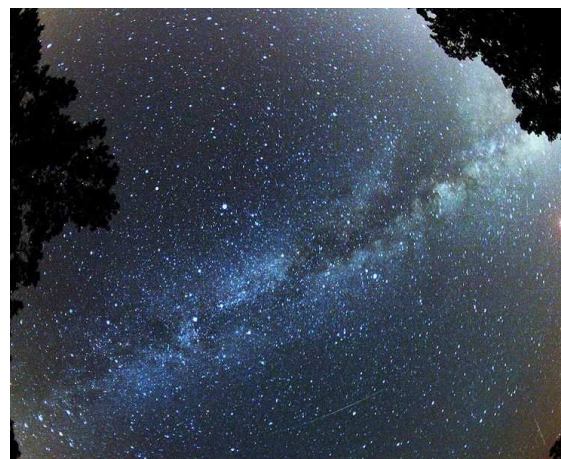
1. Sluneční soustava, základní přehled

1.1. Poloha v Galaxii

Sluneční soustava se nalézá v obrovském systému hvězd v Galaxii známé jako Mléčná dráha. Přibližný počet hvězd v galaxii se pohybuje kolem 200 miliard. Do tohoto systému patří všechny hvězdy, které vidíme na obloze, dále galaktické mlhoviny, otevřené hvězdokupy, kulové hvězdokupy a rozsáhlé oblasti mezihvězdné hmoty. Větší část těchto členů je uspořádána do plochého galaktického disku, jehož středem je galaktická výduť. Hustota hvězd se zmenšuje směrem od středu k okrajovým částem. Galaktický disk není tedy homogenní. Je to způsobeno tím, že hvězdy a mezihvězdná hmota jsou nahuštěny do spirálních ramen. Ramena se odvíjejí od galaktické výduti. Výzkumem vodíkové čáry 21 cm, při mapování vesmíru v této frekvenci, bylo zjištěno, že sluneční soustava se nachází na vnitřním okraji jednoho ze spirálních ramen, toto rameno nazýváme Orionovo rameno [1 – 3] .



Obr. 1: Schéma naší Galaxie



Obr. 2: Pohled do středu Mléčné dráhy

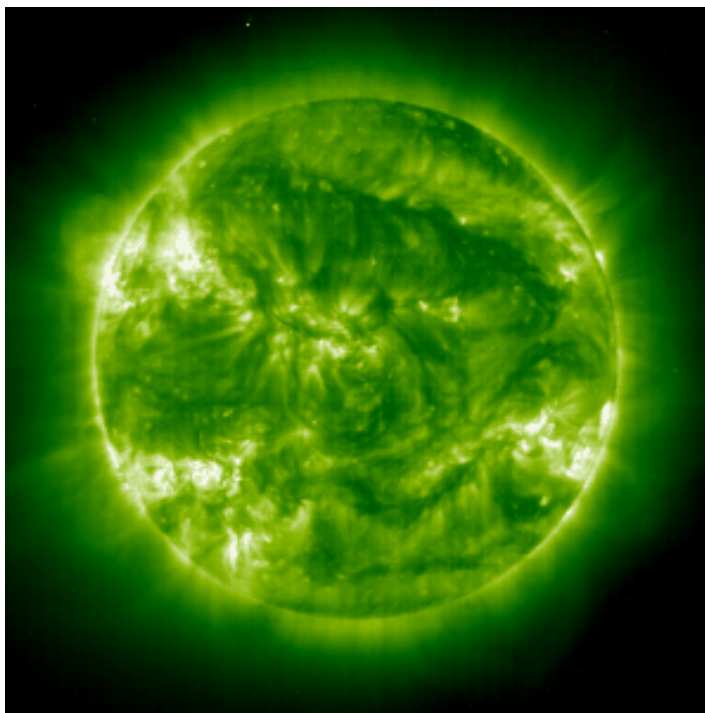
1.2. Slunce, jeho vznik a některé vlastnosti

Ve Slunci, naší nejbližší hvězdě, je soustředěna velká většina hmotnosti sluneční soustavy. Proto je Slunce nazýváno centrálním tělesem a zůstává velmi blízko těžiště sluneční soustavy. Ostatní tělesa v soustavě jsou udržována jeho gravitační silou. Při vzniku Slunce byla chladná mateřská globule (přibližně kulová temná mlhovina,) prachu a plynu, zvaná sluneční mlhovina, vlivem gravitační kontrakce zahřáta na vysoké teploty $\sim 15 \cdot 10^6$ K a tento jev nastal přibližně před $5,0 \cdot 10^9$ let.

Průměrný poloměr (m)	$6,96 \cdot 10^8$
Povrch (m^2)	$6,09 \cdot 10^{12}$
Objem (m^3)	$1,41 \cdot 10^{27}$
Oběžná rychlost kolem středu Galaxie ($km \cdot s^{-1}$)	230
Centrální teplota (K)	$15 \cdot 10^6$

Tabulka 1: Vybrané vlastnosti Slunce

Z neupotřebeného zbytku sluneční mlhoviny (méně jak 1 %) gravitace praslunce a odstředivá síla vytvořily protoplanetární disk. Tento disk byl počáteční vývojovou fází pro vznik planet, jejich měsíců a komet v době před $4,6 \cdot 10^9$ let [1 – 3].



Obr. 3: Slunce v oboru ultrafialového spektra

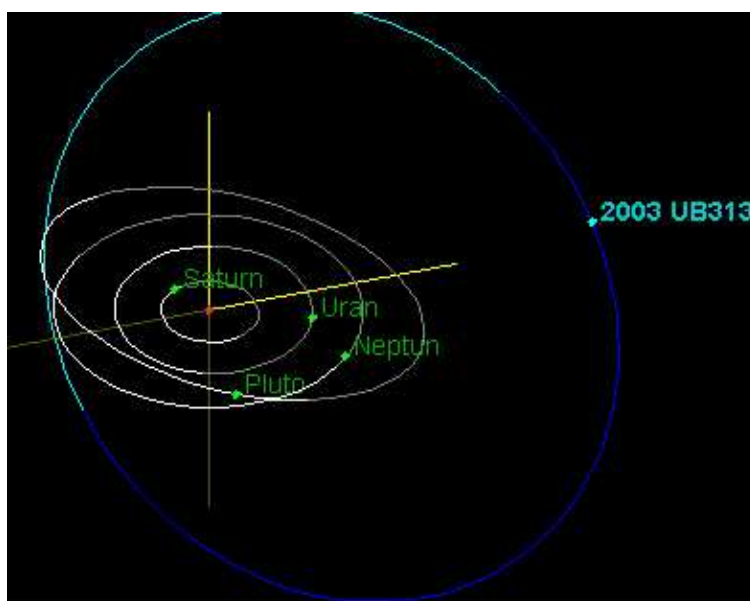
1.3. Velká tělesa sluneční soustavy

V současné době čítá naše sluneční soustava celkem 8 velkých těles planetárního typu. Studium jejich vlastností umožňuje pochopení a vysvětlení chování některých ostatních těles neplanetárního typu, která se ve sluneční soustavě vyskytují.

Při použití pojmu těleso planetárního typu je nezbytně nutné, abychom vyjasnili pojem planeta. Tomuto problému v minulosti nebylo přikládáno příliš velkého významu. Pověštinou se předpokládalo, že definice planety je známá spíše intuitivně. Již z dob

starověku je známo šest „tradičních“ planet, Uran a Neptun byly přidány k tomuto seznamu až v letech 1781 a 1846. Když bylo v roce 1930 objeveno Pluto, bylo automaticky označeno za devátou planetu. V této době nikdo nepředpokládal nějaké výraznější komplikace s definicí.

Ty nastaly až s narůstajícím počtem objektů, nalezených za dráhou Neptunu. Bylo jen otázkou času, než dojde k objevení tělesa tak velkého, že bude dosahovat až velikosti Pluta. Když pak v roce 2003 Mike Brown společně se svými kolegy oznámil objev velkého tělesa ve vzdálenosti dvakrát větší než se nachází Pluto, bylo naprosto jasné, že se stávající definicí planety již nelze vystačit.



Obr. 4: Oběžná dráha 2003 UB313 pozorovaná Mikem Brownem

Označené těleso 2003 UB313 (pojmenované M. Brownem – Xena) bylo větší než Pluto. Z tohoto důvodu přijala Mezinárodní astronomická unie (IAU) na 26. Valném shromáždění v Praze rezoluci, která pojem planeta jednoznačně definuje. IAU tedy rozhoduje, že planety a ostatní tělesa naší sluneční soustavy se budou dělit do tří kategorií následujícím způsobem:

1. Planeta je nebeské těleso, které:
 - a) obíhá okolo Slunce
 - b) má dostatečnou hmotnost, aby jeho vlastní gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, takže dosáhne tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze (přibližně kulatého) a
 - c) vyčistilo okolí své dráhy

2. „Trpasličí planeta“ je nebeské těleso, které:
 - a) obíhá okolo Slunce
 - b) má dostatečnou hmotnost, aby jeho vlastní gravitace překonala vnitřní síly pevného tělesa, takže dosáhne tvaru odpovídajícího hydrostatické rovnováze (přibližně kulatého)
 - c) nevyčistilo okolí své dráhy a
 - d) není satelitem
3. S výjimkou satelitů by všechny ostatní objekty obíhající okolo Slunce měly být označovány společným termínem „malá tělesa sluneční soustavy“.

Nyní uvedeme v seřazeném seznamu jednotlivá velká tělesa sluneční soustavy, řazení v následujícím seznamu odpovídá pořadí vzdálenosti od Slunce, kde se nacházejí na svých oběžných drahách.

1.3.1. Merkur

Nejbližší terestrická planeta Slunci. Pojmenování pochází z dob staré říše římské. Jeho dráha má relativně velkou výstřednost 0,2056, takže jeho vzdálenost od Slunce kolísá mezi 0,31 a 0,47 AU. Je nejmenší a nejteplejší planetou. Slunce oběhne jednou za 87,97 dne, což je doba 1,5 delší než jeho rotace, 58,64 dne. Hmotnost činí $3,3 \cdot 10^{23}$ kg [1 – 3].

1.3.2. Venuše

Planeta terestrického typu, která se lehce odlišuje svou dráhou od ostatních planet, její oběžná dráha je více podobná kruhové, než eliptické. Výstřednost dráhy je 0,0067. Průměrná vzdálenost od Slunce činí 0,72 AU. Slunce oběhne jednou za 225 dní. Doba rotace 243 dní, přičemž se jedná o retrogradní rotaci, otáčí se kolem vlastní osy proti směru oběhu. Hmotnost činí $4,8 \cdot 10^{24}$ kg [1 – 3].

1.3.3. Země

Největší planeta terestrického typu ve sluneční soustavě. Jediný přirozený satelit – Měsíc. Výstřednost dráhy je 0,0167. Průměrná vzdálenost od Slunce kolísá v rozmezí okolo 1 AU. Slunce oběhne jednou za 365,26 dne. Doba rotace 1 den. Hmotnost činí $5,9 \cdot 10^{24}$ kg [1 – 3].

1.3.4. Mars

Planeta terestrického typu, v pořadí čtvrtá a zároveň druhá nejmenší po Merkuru (viz. 1.3.1). Dva přirozené satelity Phobos, Deimos. Výstřednost dráhy je 0,0934. Průměrná vzdálenost od Slunce činí 1,52 AU. Doba oběhu Slunce je 687 dne. Doba rotace 1,026 dne. Hmotnost je $6,4 \cdot 10^{23}$ kg [1 – 3].

1.3.5. Jupiter

První tzv. obří planeta a zároveň největší a nehmotnější planeta sluneční soustavy. Je složen převážně z plynů. Jupiter má 63 přirozených satelitů. Výstřednost dráhy 0,0483. Průměrná vzdálenost od Slunce 5,20 AU. Doba oběhu Slunce 4335,3545 dne. Doba rotace 0,41 dne. Hmotnost je $1,9 \cdot 10^{27}$ kg [1 – 3].

1.3.6. Saturn

Patří k obřím planetám. Dosud je známo 60 přirozených satelitů, přičemž 8 nejmenších má nepravidelný tvar. Výstřednost dráhy 0,0541. Průměrná vzdálenost od Slunce 9,53 AU. Doba oběhu kolem Slunce 10752,9 dne. Doba rotace 0,43 dne. Hmotnost je $5,68 \cdot 10^{26}$ kg [1 – 3].

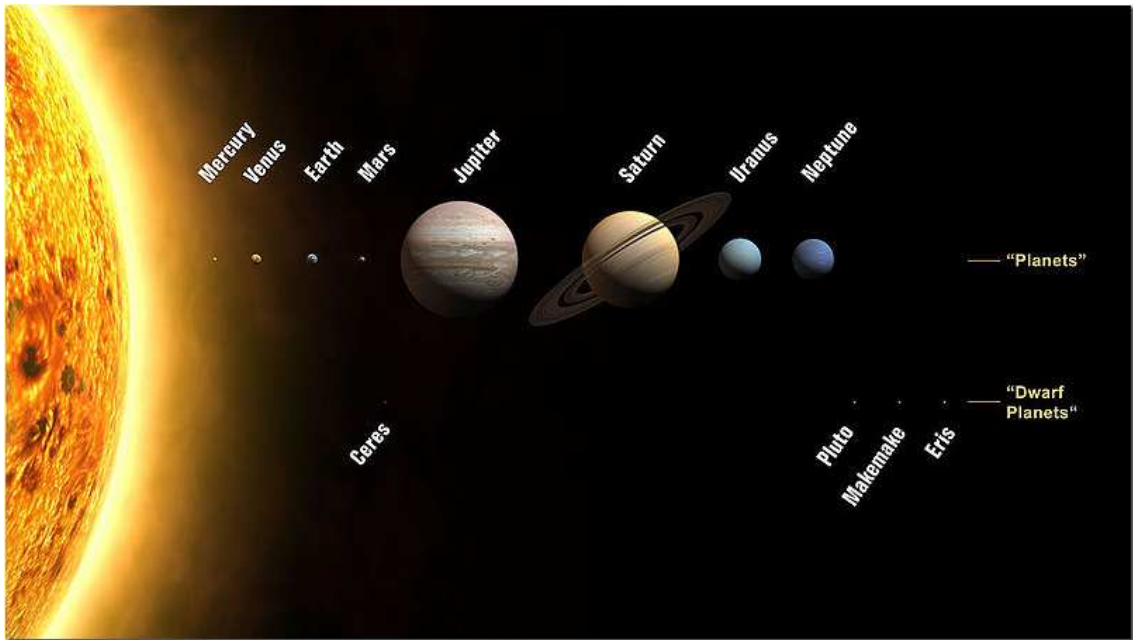
1.3.7. Uran

Další z plynových obrů. Ve středu se pravděpodobně nachází jádro z hornin a železa. Rotační osa oběhu je stočená na bok (98°), což je způsobeno patrně střetem s jinou velkou planetou při vzniku soustavy. Výstřednost dráhy 0,0471. Průměrná vzdálenost od Slunce 19,11 AU. Doba oběhu kolem Slunce 30660 dne. Doba rotace 0,71 dne. Hmotnost je $8,7 \cdot 10^{25}$ kg [1 – 3].

1.3.8. Neptun

Poslední z řady obřích planet. Neptun má 13 přirozených satelitů. Planeta byla před svým objevením předpovězena a její přibližná dráha vypočítána. Výstřednost dráhy 0,0085. Průměrná vzdálenost od Slunce 300,80 AU. Doba oběhu kolem Slunce 60225 dne. Doba rotace 0,67 dne. Hmotnost je $1,02 \cdot 10^{26}$ kg [1 – 3].

Parametry dráhy byly vypočítány na základě poruch trajektorie Uranu, dospěli k nim naprosto nezávisle dva různí astronomové U. Le Verrier a J. C. Adams. Planeta byla poprvé pozorována k datu 23.9.1846 J. Gallem [1 – 3].



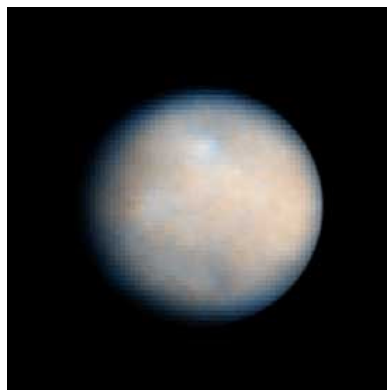
Obr. 5: Tělesa sluneční soustavy v porovnání se Sluncem

1.4. Tělesa neplanetárního typu

Asteroidy jsou malá pevná tělesa bez atmosféry, obíhající po samostatných drahách kolem Slunce. Jejich velikost je natolik malá; maximálně stovky km, že je není možno označit jako planety, ale zároveň jejich velikost neumožňuje tato tělesa zařadit mezi kosmický prach či meteory. Od podobně velkých komet se liší jednak oběžnou drahou a jednak svým složením. Pojmenování asteroid vychází z řeckého asteroida = „podobná hvězdě“.

1.4.1. Pás asteroidů mezi Marsem a Jupiterem

První asteroid byl objeven v roce 1801 díky pátrání po chybějící planetě mezi drahami Marsu a Jupitera. Asteroid dostal pojmenování Ceres, jeho průměr je přibližně 1000 km.



Obr. 6: Fotografie asteroidu Ceres z Hubbleova teleskopu

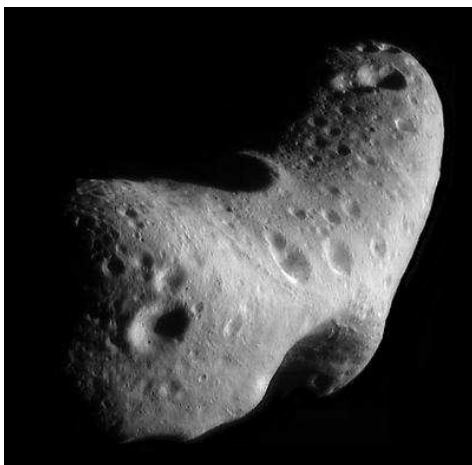
K datu 1. ledna 2009 bylo zaznamenáno a spočítána dráha pro 436 598 asteroidů. Většina z tohoto množství se pohybuje po oběžných drahách mezi Marsem a Jupiterem. Jejich vzdálenost od Slunce se pohybuje mezi 2 až 4 AU. Existuje několik teorií o tom, zda tyto asteroidy jsou jen pozůstatky po formování sluneční soustavy nebo se spíše jedná o pozůstatky po jakémsi větším tělese [8].

1.4.2. Asteroidy uvnitř oběžné dráhy Země a blízkozemní asteroidy

V roce 1998 se snažili astronomové David Tholen a Rob Whiteley z Havajské univerzity provést pozorování blízkozemního asteroidu s cílem potvrdit jeho celou oběžnou dráhu uvnitř dráhy Země. Pozorované těleso dostalo označení 1998 DK36. Oficiálně je tento objev uváděn k datu 23. února 1998. Vzhledem k problémům s vybavením teleskopu jim bylo zabráněno v dalším pozorování, díky čemuž byl objekt fakticky ztracen [6].

Vlivem problémů s teleskopem se tak prvním potvrzeným asteroidem s celou dráhou ležící uvnitř dráhy Země stal objekt označený 2003 CP20, s dobou oběhu kolem Slunce 233 dní. Na druhé místo se řadí asteroid s označením 2004 JG6, který křížuje dráhy Merkuru a Venuše. Oběžná doba je jen 184 dní a jeho nejbližší vzdálenost ke Slunci činí pouhých 0,29 AU (43 mil. km) [7].

Blízkozemní asteroid je těleso, jehož oběžná dráha je blízko oběžné dráhy Země. Jedním z nejznámějších objektů tohoto typu je Eros („navštíven“ sondou NEAR Shoemaker).



Obr. 7: Asteroid Eros



Obr. 8: Sonda NEAR Shoemaker

Existují asi desítky tisíc blízkozemních planetek, z čehož přibližně do 2000 z nich má průměr větší než jeden kilometr. Jako jeden ze zajímavých zástupců blízkozemních asteroidů může být uveden nenápadný asteroid (6489) Golevka, který je zajímavý především svým chováním. Působením malé síly nazývané Yarkovského efekt došlo v uplynulých 18 letech k posunu v jeho dráze o 15 kilometrů.

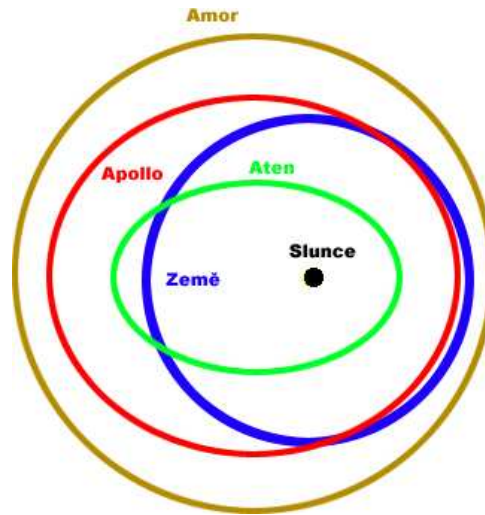
Tento Yarkovského efekt je způsoben nerovnoměrnou absorpcí energie z dopadajícího slunečního záření a jejím opětovně nerovnoměrným vyzářením zpět v podobě tepla, vlivem čehož dochází k jemné akceleraci a tedy i změnám v dráze. Vliv tohoto efektu je vůči drahám asteroidů sice malý, ale v měřítku desítek miliónů let je tento vliv na dráhu tělesa obrovský.

Tím se tento jev stává hlavním podkladem pro vysvětlení přesunu planetek z hlavního pásu mezi drahami Marsu a Jupitera do vnitřních částí sluneční soustavy [8].

V současné době jsou blízkozemní planetky rozdělovány na tělesa typu:

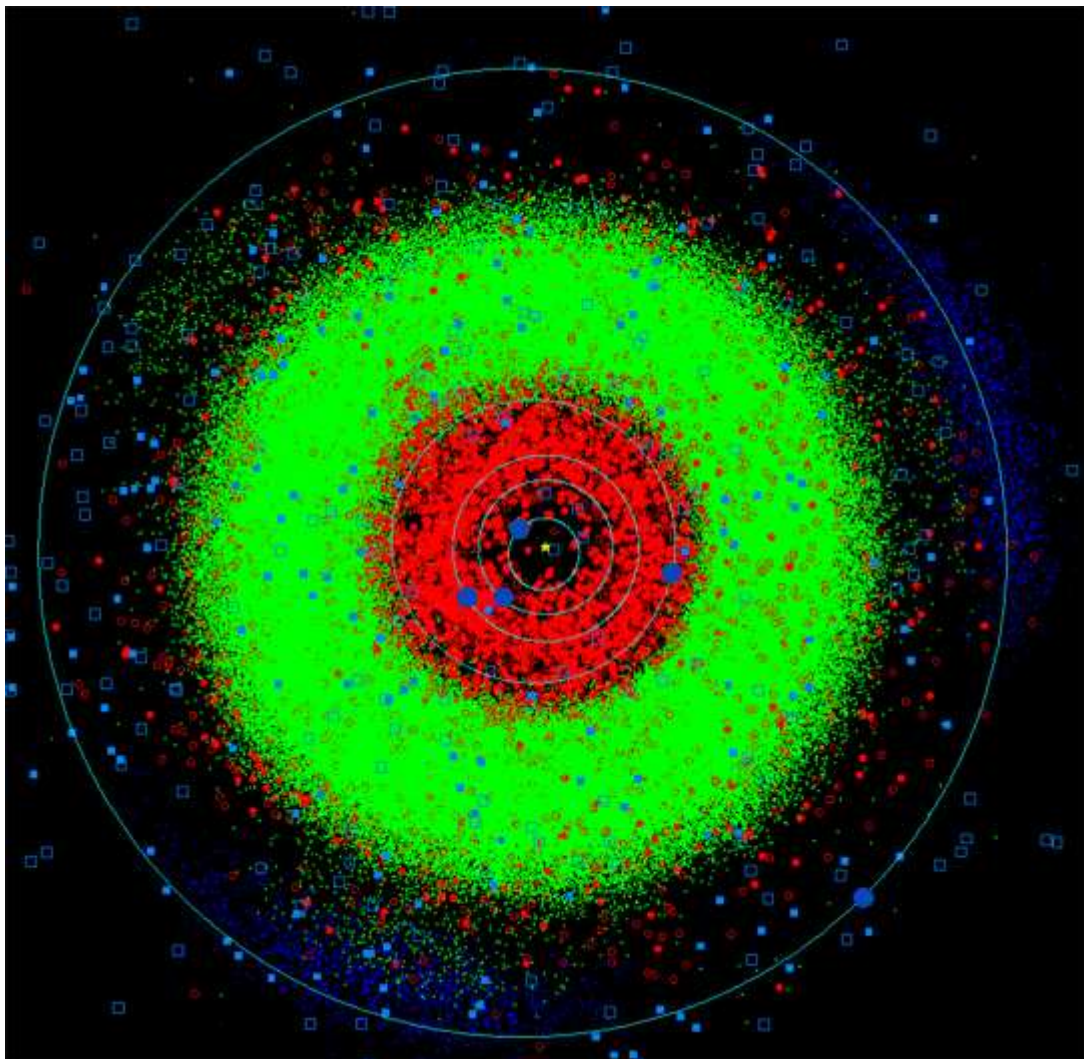
1. Aten – tato tělesa kříží dráhu Země, přičemž větší část jejich dráhové trajektorie se nachází uvnitř zemské dráhy, tj. jsou blíže Slunci než Země, vzhledem k tomu je jejich doba oběhu okolo Slunce kratší než jeden rok. Tato skupina je pojmenována podle planetky (2062) Aten, která byla objevena 7. ledna 1976 na Mount Palomaru astronomkou E. F. Helinovou,
2. Apollo – tato tělesa taktéž kříží dráhu Země. Menší část jejich dráhové trajektorie se nachází uvnitř zemské dráhy, jejich doba oběhu okolo Slunce je delší než jeden rok. Pojmenovány jsou podle planetky (1862) Apollo pozorované 24. dubna 1932 astronomem K. Reinmuthem na observatoři v Heidelbergu,
3. Amor – tělesa patřící do této skupiny přímo nekříží dráhu Země. Jejich dráhová trajektorie se z vnějšku přibližuje k dráze Země. Pojmenování podle planetky (1221) Amor pozorované 12. března 1932 E. Delportem na observatoři v Uccle.

K 27. dubnu 2009 bylo známo 509 těles typu Aten, 3061 těles typu Apollo a 2569 těles typu Amor. Na obrázku 9 jsou zobrazeny dráhové trajektorie zobrazující všechny tři skupiny blízkozemních planetek. Modrou barvou je zobrazen dráhová trajektorie Země. Dráhová trajektorie pro tělesa ze skupiny Amorů je provedena v hnědé barvě. Pro zobrazení trajektorie těles ze skupiny Apollo byla zvolena červená barva. Zobrazení poslední skupiny těles Atenů bylo provedeno v světle zelené barvě.



Obr. 9: Dráhové trajektorie blízkozemních planetek

Na obrázku 10 je zobrazena současná pozice planet od Merkuru po Jupiter a ostatních malých těles ve vnitřní části sluneční soustavy k datu 23. dubna 2009.

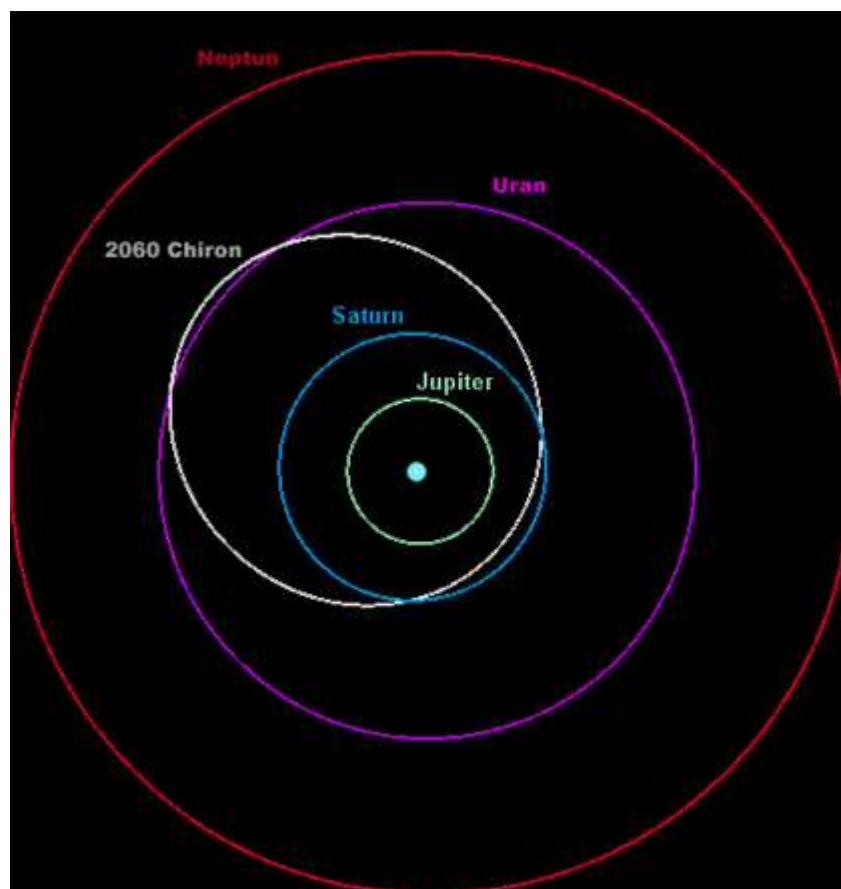


Obr. 10: Schématické znázornění vnitřní oblasti sluneční soustavy

Oběžné dráhy velkých planet jsou zobrazeny světle modrou barvou a jejich pozice jsou zobrazeny velkým modrým bodem. Malé planetky a nečíslované objekty jsou zobrazeny kružnicemi zelené barvy. Objekty s perihelem větším než 1,3 AU jsou zobrazeny červenými kružnicemi. U těles, která byla pozorována ve více než v jedné opozici jsou kružnice vyplněné. Dvě skupiny modrých objektů 60° před a za Jupiterem je skupina těles, nazývaných Jupiterovi Trojané. Ke dni 27. dubnu 2009 je známo celkem 2958 Jupiterových Trojanů. Modře vyplněné čtverečky zobrazují periodické komety, bez výplně jsou zobrazeny neperiodické komety. Zeleně je zobrazen hlavní pás asteroidů mezi Marsem a Jupiterem.

1.4.3. Tělesa kometárního typu

Kometa je těleso sluneční soustavy, tvořené jádrem komety a komou (tzv. hlavou komety) a ohonem komety. Jejich průměr se pohybuje mezi 1 až 40 km. Od planetek se liší difúzním vzhledem a určitými charakteristikami jejich oběžné dráhy, přes tuto definici stále existuje několik nejasných případů. Příkladem by mohl být objekt (2060) Chiron – 95P/Kowal, který má difuzní komu a ohon komety.



Obr. 11: Dráhová trajektorie tělesa (2060) Chiron

Tvar jádra je nepravidelný, jak vyplynulo z křivky světelných změn; což je grafické znázornění změn jasnosti proměnné hvězdy nebo jiného objektu s časem, kde jasnost je vyjádřena zdánlivou hvězdnou velikostí (fotometrická veličina; neodpovídá skutečné zářivosti neboť je zkreslena jejich vzdáleností) nebo absolutní hvězdnou velikostí (hvězdná velikost jakou by hvězda, či jiné svítící těleso, měla ze vzdálenosti 32,6 světelných roků).



Obr. 12: Halleyova kometa

Materiálem jsou komety složené ze zmrzlých plynů; kompaktního sněhu a ledu, v nichž jsou zamrzlé prachové částice. Hustota se odhaduje na $5 \cdot 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Křehký, porézní materiál má malou velikost pevnosti v tahu. Kometa se proto snadno rozpadá.

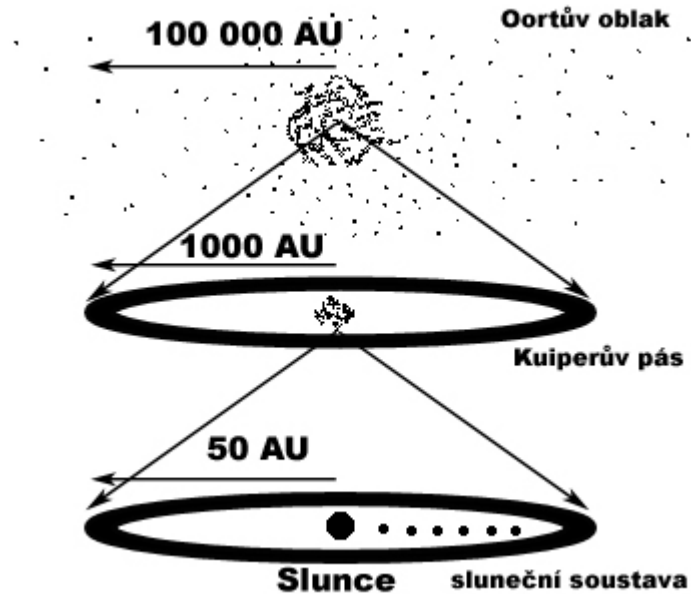
V gravitačním poli Slunce se komety pohybují podle Keplerových zákonů. Velké planety však způsobují gravitační poruchy dráhy, takže dráhy nejsou dokonalé elipsy. Pohyb je dále ovlivňován i negravitačními silami a to výtrysky plynů opouštějící jádro.

Komety lze rozdělit podle doby oběhu na [1 – 3]:

1. krátkoperiodické, jejichž oběžná doba je menší než 200 let a dráhy jsou uvnitř planetárního systému, byly zachyceny velkými planetami a obíhají Slunce podobně jako planety, jejich původ je patrně z Kuiperova pásu,
2. dlouhoperiodické s oběžnou dobou delší než 200 let, jejich dráhy jsou protáhlé elipsy nebo paraboly.

1.4.3.1. Oortův oblak komet

Jedná se o oblak komet, jejichž počet se odhaduje na několik miliard, jsou rozloženy v kulové vrstvě kolem Slunce. Nejbližší se nacházejí ve vzdálenosti 3000 AU. Nejdálší komety oblaku jsou na pomezí mezihvězdného prostoru, kam začínají zasahovat svou gravitací nejbližší hvězdy (udává se zhruba poloviční vzdálenost k Proximě Centauri – 2 světelné roky).



Obr. 13: Schéma pozice Oortova oblaku komet vzhledem k planetární soustavě

Komety obíhají kolem Slunce a vzdálenost jejich perihélia je 5 až 30 AU a vzdálenost afelia je 30000 až 135000 AU. Oortův oblak komet se dělí na:

1. vnitřní část s kometami, jejichž velké poloosy jsou zhruba 3000 – 4000 AU nebo menší. Komety z vnitřního jádra jsou koncentrovány směrem k ekliptice. Tato zploštělá část je nejbližší k planetám a odpovídá Kuiperovu pásu,
2. komety ve vzdálenostech 4000 až 10000 AU, jsou symetricky rozloženy v kulové vrstvě obklopující planetární soustavu. Jedná se o stabilní systém, který se za dobu existence sluneční soustavy příliš nezměnil,
3. vnější Oortův oblak komet ve vzdálenostech 10000 AU až 2 světelné roky.

Hvězda, která by procházela v blízkosti oblaku může ovlivnit pohyb jeho komet ve vnější části oblaku. Některé z nich může poslat směrem ke Slunci, z těchto

se povětšinou stávají dlouhoperiodické komety s oběžnou drahou statisíců let. Některé komety si tato procházející hvězda může přitáhnout, ty jsou pak pro sluneční soustavu ztraceny.

Původ Oortova oblaku komet není dosud objasněn. Předpokládá se, že se jedná o pozůstatky periferie mateřského protoplanetárního disku [1 – 3].

1.4.4. Kosmický prach

Jedná se o nejmenší částičky pevné látky v kosmickém prostoru. Jeho velikost je v rozmezí nanometrů až zlomků milimetrů (hranice nelze zcela přesně vymezit). Z velké části je tvořen vodním ledem, uhlíkem, křemičitany a železného materiálu. Dle výskytu rozeznáváme meziplanetární, okolohvězdný a mezihvězdný prach. Na meziplanetárním prachu se odráží a rozptyluje sluneční světlo [1 – 3].

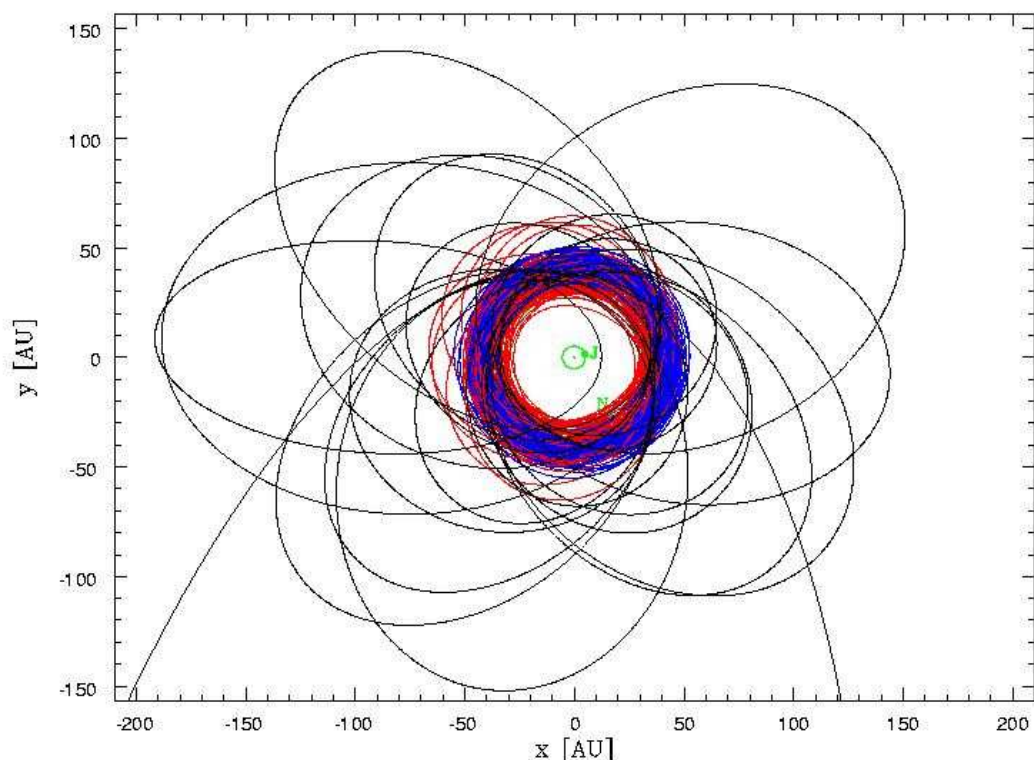


Obr. 14: Rozptyl světla na kosmickém prachu

2. Tělesa za oběžnou drahou Jupitera a Neptuna

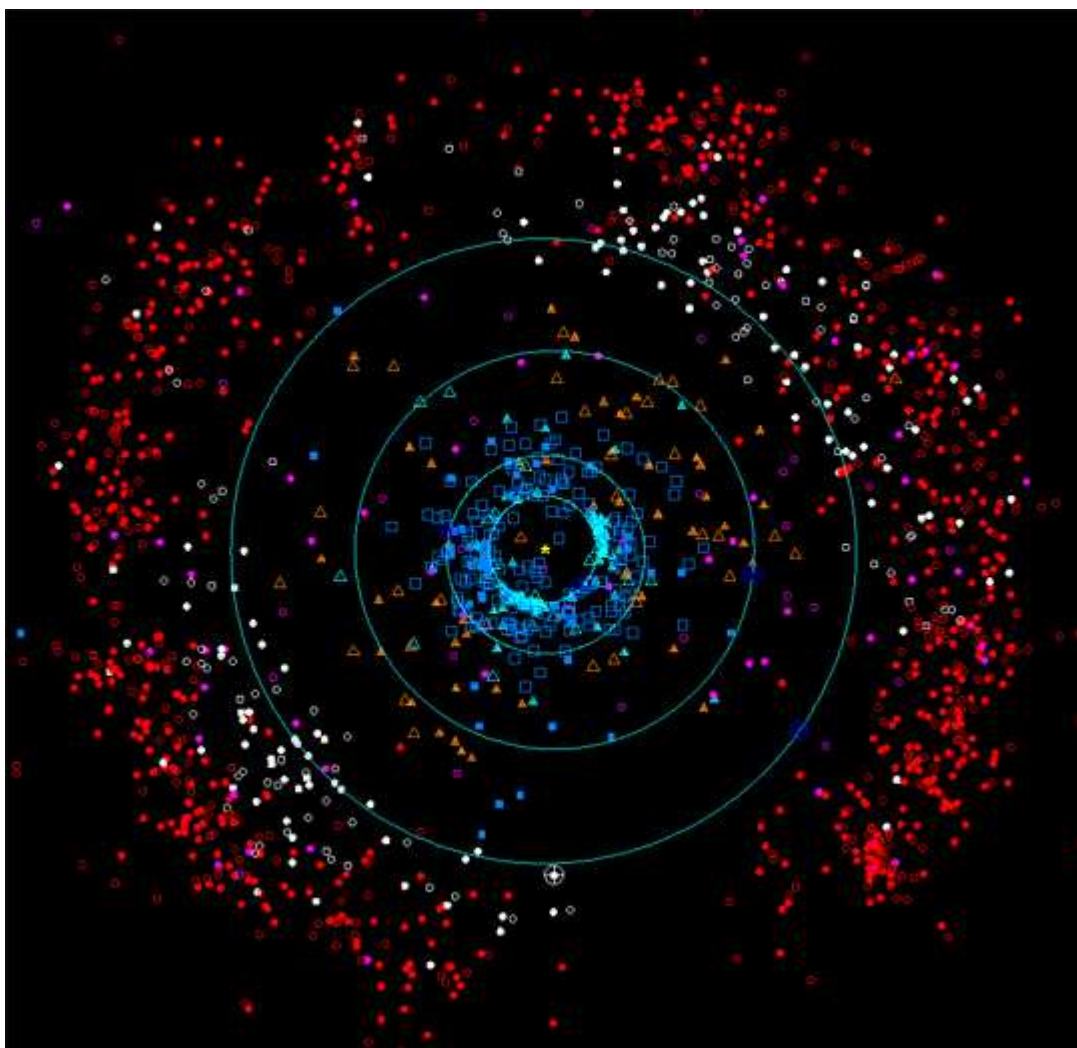
Z přehledu uvedeném v kapitole 1 je možno si utvořit jistou představu o rozměrech, vzdálenostech a gravitačních silách, které panují jednak uvnitř našeho planetárního systému a jednak na jeho okrajích až po místa, kde se prakticky začíná nacházet mezihvězdný prostor. Jak je patrné, největší tělesa v planetárním systému se nejen ovlivňují navzájem, ale jejich působnost se vztahuje i na menší tělesa. Zvláště na menších tělesech je možno tento vliv pozorovat, neboť změny v jejich chování se projeví mnohem rychleji a výrazněji, než u jejich větších protějšků. Pokud se budeme snažit blíže podívat na tělesa, která se nacházejí za oběžnou drahou Neptunu, popřípadě ji na své dráze křížují. Vzhledem k jejich velkému počtu se po období jejich počátečního pozorování se začala tato tělesa postupně rozlišovat, tak aby se tělesa se stejnými nebo podobnými vlastnostmi zařadily do nově vznikajících skupin. Tímto způsobem bylo zavedeno několik kategorií, do nichž se patří i transneptunická tělesa.

Do kategorie objektů za oběžnou drahou Neptunu patří ještě objekt rozkládající se za oběžnou drahou Neptunu, Kuiperův pás.



Obr. 15: Oběžné dráhy těles za drahou Neptunu (tělesa Kuiperova pásu)

Jedná se o disk ledových těles, jader komet lemující planetární soustavu. Tvoří tak pokračování planetární soustavy za drahou Neptunu přibližně až do vzdálenosti 1000 AU od Slunce. Pochází odtud především kentauři a krátkoperiodické komety. Na vnější periferii pokračuje v již známý Oortův oblak komet. Pás byl nazván po Gerardu Kuiperovi (1905 – 1973) viz. obr. 14 [1 – 3].



Obr. 16: Schématické znázornění vnější oblasti sluneční soustavy

Obrázek 16 zobrazuje stávající pozice Jupiteru a Neptunu k datu 23. dubna 2009, které jsou vyznačeny modře spolu se svými oběžnými drahami. Dále jsou zde zobrazeny pozice malých těles sluneční soustavy. Zobrazení pozic je provedeno v několika barvách, přičemž různým objektům náleží různé barvy. Kentauři jsou zobrazeni oranžovými trojúhelníčky. Objekty v rezonanci 2:3 s Neptunem – Plutoidy jsou zobrazeny bílou barvou, Pluto samotné je větší bílý kruh s křížkem vprostřed. Objekty rozptýleného disku (SDOs) jsou ve fialové barvě. A klasické resp. objekty

hlavního pásu jsou zobrazeny jako červené. Výplň objektů je provedena tehdy, jestliže byly objekty pozorovány ve více jak jedné opozici dráhy. Četné periodické komety jsou zobrazeny modrými plnými čtverečky. Ostatní komety jsou zobrazeny modrými čtverečky bez výplně. Objekty na oběžné dráhy se pohybují proti směru hodinových ručiček.

2.1. Teorie vzniku Kuiperova pásu a historie jeho objevu

Jedním z prvních, kteří nastínili možnost vzniku pásu těles za drahou Neptunu byl Kenneth Essex Edgeworth (1880 – 1972). Tento Ir svou teorii vyslovil přibližně o dva roky dříve než Kuiper, proto se někdy užívá označení Edgeworth-Kuiperův pás zkráceně E–K disk, ale poslední léta již převažuje název Kuiperův pás.



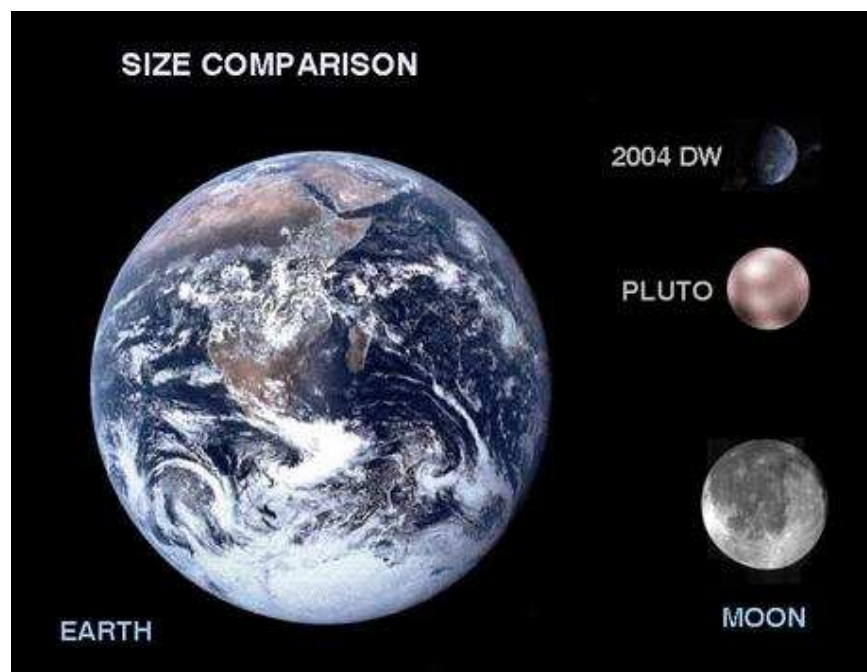
Obr. 17: Gerard Kuiper

V pracích z let 1943 a 1949 se zabýval Edgeworth vznikem a vývojem sluneční soustavy. Na základě jednoduchého matematického modelu obhajuje myšlenku vzniku akrecí (= akrece plynu, prachu a menších těles na větší tělesa, při malé rychlosti dopadu dochází k splynutí těles, při velké rychlosti může dojít k jejich rozbití, jedná se o základní proces při vzniku planetární soustavy z protoplanetárního disku, materiál přitom nepadá do centrálního tělesa přímo, ale přibližuje se po spirále, dochází k nahušťování a urychlování tím více, čím je blíže centrálnímu tělesu; to je důsledek zachování úhlového momentu pro později vzniklá tělesa) a vyvrací teorie vyvržení planet z materiálu Slunce. Jako logický důsledek akreční teorie je pak i vznik menších těles za drahou Neptunu. Bylo by neodůvodněné předpokládat, že zárodečný disk končí

náhle za Neptunem. Materiál v těchto oblastech by měl spíše zvolna řádnout a dát vznik početnému pásu velmi malých těles.

Z Edgeworthova modelu pak vychází, že tempo akrece je tím pomalejší, čím delší je oběžná doba formujících se objektů (ta je v tomto pásu řádově stokrát delší než v pásu planetek mezi Marsem a Jupiterem) a autor názor uzavřel tím, že tato tělesa budou mnohem menší, než v té době známé planetky. Toto však, jak dnes již víme, pravda není. Čas od času má být některé z těchto ledových těles vychýleno ze své dráhy, dostane se do vnitřních částí sluneční soustavy a my jej pozorujeme jako kometu [3], [8]. Tento názor, že zásobárna krátkoperiodických komet je plochý prostor podél ekliptiky za planetární soustavou (svědčí o tom i malý sklon jejich dráhy, což je v protikladu k dlouhoperiodickým kometám z Oortova oblaku komet, které přicházejí ze všech směrů) tedy vyslovil K. E. Edgeworth. Na základě výpočtů je komet, která je působením Neptunu z vnitřní části Kuiperova pásu, vtažena sluneční gravitací dovnitř planetární soustavy.

O dva roky později tedy vychází kniha *Astrophysics*, mezi jejímiž autory figuruje i Gerard Kuiper. I ten nastiňuje hypotézu oblaku těles za Neptunem, jako důsledek po vzniku našeho planetárního systému. Kuiper zřejmě Edgeworthův článek přehlédl a tuto myšlenku vyslovuje nezávisle.



Obr. 18: Porovnání velikostí Země, Měsíce, Pluta a tělesa 2004 DW nabízí základní představu o velikosti studovaných těles

2.2. Pátrání po dalších objektech

Vůbec první systematickou prohlídku vnějších oblastí sluneční soustavy vedl ve 30. a 40. letech dvacátého století C. Tombaugh (1906 – 1997) při pátrání po deváté planetě. Kromě objevu Pluta v roce 1930 však již nic jiného nenalezl.

Až v 70. a 80. letech s vývojem počítačové techniky, bylo možné provádět stále náročnější a rozsáhlejší simulace transportu těles z hypotetického Kuiperova pásu směrem ke Slunci, kde se z nich stávají krátkoperiodické komety. Hlavními argumenty pro tyto studie byly vlastnosti drah komet s oběžnými dobami menšími než 200 let (krátkoperiodické). Pozorované vlastnosti byly shrnuty do následujících bodů:

1. oběžné doby většiny (tehdy i dnes) známých krátkoperiodických komet jsou kratší než 15 let (pro 100 ze 120 komet),
2. jejich dráhy mají nízké sklony k ekliptice a většina je prográdních, tj. obíhají ve stejném směru, jako planety,
3. perihelia a afelia těchto drah leží v blízkosti roviny ekliptiky.

Všechna tato fakta naznačují, že na vzniku krátkoperiodických komet se významně podílejí vnější obří planety. To samo o sobě ale pro existenci Kuiperova pásu nesevředly. Dlouho se například věřilo, že krátkoperiodické komety mohou vznikat při blízkých setkáních s obřími planetami z komet dlouhoperiodických, které k nám přilétají z Oortova oblaku komet. Avšak pravděpodobnost takového setkání je velmi malá a aby bylo možno vysvětlit pozorovaný počet komet krátkoperiodických, museli bychom tu mít obrovskou populaci přilétávajících dlouhoperiodických komet (takřka až desetitisíckrát více, než kolik jich skutečně pozorujeme). Navíc by se sklony drah takto vzniklých krátkoperiodických komet příliš nelišily od sklonů těch dlouhoperiodických, takže bychom tu měli jak prográdní, tak retrográdní krátkoperiodické komety.

Naproti tomu dostatečně hustý disk komet na transneptunických drahách, neustále narušovaný gravitačními poruchami velkých planet, vyhovuje lépe. Neobvyklé těleso, obíhající mezi drahou Saturnu a Uranu, jedná se o planetku Chiron, do tohoto schématu relativně dobře zapadá. Mohlo by tedy jít o jakýsi přechodný stupeň mezi objekty Kuiperova pásu a kometou. Krátkoperiodické komety přibývají ve sluneční soustavě tempem řádově jedna kometa za 100 let (samozřejmě stejnou rychlostí i ubývají; padají do Slunce, srážejí se s planetami, rozpadají se vlivem slunečního záření). Takto rychlý přísun těles (z astronomického hlediska je to poměrně rychlý proces) vyžaduje, aby

v oblasti velkých planet existovala dostatečně velká „zásobárna“, ze které budou doplňovány (nemluvě o Kuiperově pásu, který musí živit tuto zásobárnu).

V roce 1993 počali astronomové M. Holman a J. Wisdom z Massachusetts Institute of Technology s rozsáhlou simulací, která si kladla za cíl stanovit doby, po které jsou objekty na různých drahách mezi velkými planetami schopny vydržet, než dojde k jejich blízkému setkání s nějakou planetou (dráhy těchto malých těles se zvolna mění díky gravitačnímu působení planet) a jsou vyslány do vnitřních oblastí sluneční soustavy jako kometa, nebo naopak vyvrženy ven. Z těchto dob můžeme odvodit množství těles, které se v daných oblastech vyskytují, čím delší je jejich životní doba, tím větší populaci lze očekávat. Některé částice v simulaci „přežily“ po celou dobu výpočtu (800 milionů let). Nejdelší životní doby vykazují částice za drahou Neptunu. To posiluje hypotézu možné existence Kuiperova pásu, a navíc i zde jsou patrné oblasti, jejichž životní doby jsou kratší. A právě odtud by k nám mohly přilétat krátkoperiodické komety [4], [8].

2.3. První objevy transneptunických těles

Na přelomu října a září 1992 se astronomům Davidu Jewittovi a Jane Luu podařilo objevit transneptunický objekt. Na snímcích pořízených v noci 30. a 31. srpna a 1. září pomocí 2,2 metrového dalekohledu Havajské Univerzity objevili objekt jasnosti přibližně 23 magnitudy (magnituda = jednotka pro měření hvězdné velikosti (jasnosti) hvězd a jiných nebeských objektů), ten dostal označení 1992 QB1 a vykazoval pomalý retrográdní pohyb, jenž by mohl odpovídat kruhové dráze ve vzdálenosti 37 až 59 astronomických jednotek, jednalo se tedy o těleso prokazatelně za Neptunem. Objekt se pohyboval tedy opačným směrem, než obíhají planety.

Velká poloosa	43,734 AU
Výstřednost	0,065
Sklon dráhy	2,193°
Argument perihelu	2,154°
Délka výstupného uzlu	359,458°
Oběžná doba	289,225 roků

Tabulka 2: Parametry dráhy tělesa (15760) 1992 QB1

Než však mohlo být definitivně prokázáno, že se jedná o těleso z Kuiperova pásu, musela být uskutečněna ještě další astrometrická měření s dostatečným časovým odstupem. Samotná pozorování z těchto tří nocí totiž nevyklučovala ani parabolickou dráhu v blízkosti Země, připadala by tak i možnost slabé komety.

V fotometrickém filtru R (red), měl objekt větší jasnost než ve filtru V (visual). Kdyby bylo možno se na takové těleso podívat pouhým okem, bylo by docela obyčejně černé. Právě jeho velmi tmavá barva způsobuje, že objekt září více v tepelném (infračerveném) spektru a tudíž je v červené oblasti jasnější než ve vizuální. Červenou barvu povrchu může způsobit vysoký obsah organických látek. Toto první těleso dostalo později jméno Cubewano, podle výslovnosti jeho označení QB1 [kju:bi:uan].

Další objekty byly objeveny až o rok později. Stalo se tak 16. a 17. září 1993, tělesa dostala označení 1993 SB, 1993 SC a objevil je tým vedený I. Williamsem na observatoři na Kanárských ostrovech. K dni 27. dubnu 2009 je známo celkem 1093 transneptunických objektů.

Uvedené údaje nám tedy naznačují, že tento typ těles by se měl po větší část své dráhy vyskytovat za drahou Neptunu. Je ale třeba poznamenat, že některá z těchto těles se přeci jen s drahou Neptunu nejen kříží, ale dostávají se i mnohem hlouběji do planetární soustavy, tak se stává, že jejich výskyt lze zaznamenat i v oblastech okolo dráhy Jupiteru. V tomto případě je třeba poznamenat, že takováto tělesa zpravidla spadají do jedné kategorie, která jejich chování vystihuje. Pokud budeme tedy chtít jistým způsobem rozčlenit transneptunická tělesa, může využít již obecně zavedené třídění. Na jeho základě a s přihlédnutím k výše uvedenému můžeme rozlišovat dynamické skupin těles za drahou Jupiteru takto:

1. Kentauři,
2. objekty rozptýleného disku (Scattered Disc Objects – SDOs),
3. objekty Kuiperova pásu (Kuiper Belt Objects – KBOs), které se dělí na tzv. klasické objekty Kuiperova pásu (CKBOs), neboli Cubewanos (podle svého typického představitele) a tělesa v orbitální rezonanci s Neptunem. Z rezonančních tvoří největší část tzv. Plutinos (Pluto je jejich největším členem), které jsou v rezonanci 3:2 s oběžnou drahou Neptuna.

Uvedené třídění vychází z určitých charakteristik těchto objektů. Pro snazší pochopení tohoto dělení, je zapotřebí vlastnosti těchto skupin blíže rozebrat [5].

2.4. Kentauři

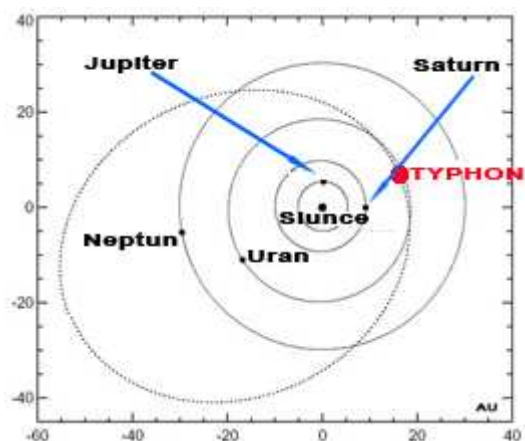
Tělesa křižující dráhy obřích planet se nazývají podle mýtických bytostí, půl člověk a půl kůň, Kentauři. Jako první těleso tohoto druhu byl v roce 1977 objeven již zmíněný Chiron. Jedná se o obojetné těleso, resp. planetku, která se občas se projeví i jako kometa.

Kentauři se pohybují po dlouhodobě nestabilních drahách a postupně se stávají krátkoperiodickými kometami. Tato nestabilita se projevuje v řádech desítek milionů let. Na své dráhy se tedy dostávají nejen přímým setkáním s velkými tělesy (je v tomto směru nejúčinnější), ale i dlouhodobé vzdálené gravitační působení může při vhodných kombinacích elementů dráhy tělesa a rušící planety jejich dráhy měnit. Při těchto změnách zůstává zachována velká poloosa dráhy, ale excentricita se mění (v časové škále desetitisíců až statisíců let), čímž se těleso dostává v perihelu blíže a blíže ke Slunci, až jeho dráha protne dráhu některé z planet a velmi brzy dojde k těsnému setkání.

Původní definice Kentaurů uvažovala pouze o tělesech pohybujících se mezi drahami Jupiteru a Neptunu. S přibývajícím množstvím objevů a zejména pak specificky kategorizovaných těles (příkladem mohou být tělesa s označením SDO, kterým bude věnována pozornost v dalších částech) nastávají nutně problematické otázky typu co je a co není Kentaur. Objekt nesoucí označení (42355) 2002 CR46 se sice nepřiblíží ke Slunci blíže než Jupiter, nedotkne se ani dráhy Saturnu, ale v odsunutí se ocitne daleko za dráhou Neptunu. Proto nebývá za „klasického“ Kentaura často považován.



Obr. 19: Umělecké ztvárnění kentaury (8405) Absolus



Obr. 20: Pozice 2002 CR46 – (42355) Typhon dne 20. ledna 2006

Z tohoto důvodu také 2002 CR46 nedostal přímo jméno jednoho z mýtických Kentaurů, ale objevitel jeho podvojnosti mu vybral jméno jiné – Typhon (Tyfon). Druhá ze složek Kentaura (42355) Typhon I, objevená na snímcích z HST, dostala jméno Echidna [9]. Nastává tak opět otázka co je a co není Kentaur, resp. jaký Kentaur být?

Pro její zodpovězení je zapotřebí vzít jako veličinu první těleso tohoto typu jež bylo objeveno. Tímto prvním z objevených Kentaurů je dnes známý Chiron. Tento objekt obíhá kolem Slunce mezi drahami Saturnu a Uranu [10].

Objekt samotný byl objeven za dráhou Jupitera. 18. října 1977 Charlesem Kopalem a to za pomoci 1,2 m dlouhého dalekohledu v Mount Palomarské observatoři. Asteroid (2060) dostal název Chiron. Těleso však jevílo náznaky kometární aktivity. Jeho dráha má perihel ve vzdálenosti 8,5 AU a afel 18,5 AU od Slunce. Na základě provedených výpočtů bylo odhadnuto, že Chiron se během několika set tisíc let dostane blíže ke Slunci a bude pak následně Jupiterem vyvržen ven ze sluneční soustavy.

Předpokládá se tedy, že se jedná o „spící“ kometární jádra, která vzhledem k velké vzdálenosti od Slunce nemohou vytvářet klasickou komu a ohon. Mohou být tedy popisovány jako obojaká tělesa. Tato jejich vlastnost vedla k jejich pojmenování: „Protože jsou něco napůl mezi planetkami a kometami jsou podobní mytologickým postavám Kentaurů (napůl člověk napůl kůň).“

Další podobný objekt byl objeven v roce 1992 – Pholus, a v následujících letech přibývaly další. Jejich dráhy typicky kříží dráhu jedné z ostatních velkých planet (Saturnu, Uranu či Neptunu) a jsou proto dynamicky nestabilní (podle výpočtů se např. Chiron během několika set tisíc let dostane blíže ke Slunci a bude Jupiterem vyvržen ze sluneční soustavy).

Vzhledem k předpokladu, že jejich dráhy kříží dráhu jedné z ostatních velkých planet a jejich pobyt ve sluneční soustavě je po nějaké době ukončen tím, že jsou vyvrženy mimo sluneční soustavu je možné dospět k teorii, že se jedná o objekty, které se v těchto oblastech sluneční soustavy nacházejí jen přechodně a jsou tam doplňovány z většího „rezervoáru“ těles [11].

Mnohá další „kentaurovitá“ tělesa však nejsou tak jednoznačná. Třeba 1995 SN55 má přísluní v 8 AU a odsluní v 39 AU, mohli bychom ho tedy v podstatě považovat jak za Kentaura, tak za objekt jiného typu. Dalším podobným je nedávno objevené těleso 1999 TD10.

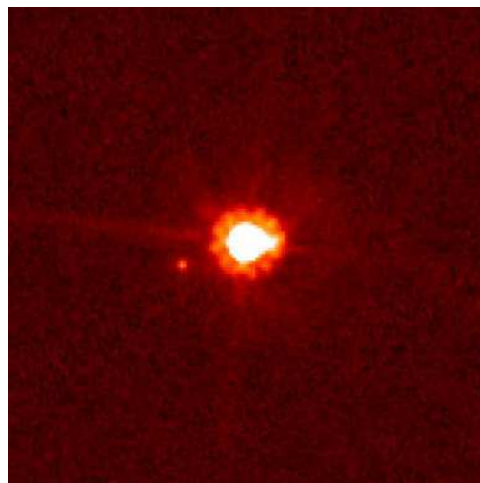
Můžeme tedy předpokládat, že na základě předchozího, jsme schopni relativně přesně rozhodnout, zda těleso je či není Kentaur. Nabízí se ale ještě jedna otázka, a to

problematika kometárního rázu. Kentaur Chiron projevuje jakousi kometární aktivitu. Kentauři bývají často považováni za jakési protokometry. Jiní však Kentauři kometární aktivitu neprokazují. Problematika této otázky je tedy stále řešena [10].

Kentaury je poměrně složité objevit a vyžaduje to větší nároky na dalekohledy. A to i přesto, že jsou blíže a tudíž by měly být jasnější. Právě díky jejich blízkosti a rovněž kvůli výstředným drahám je jejich úhlový pohyb na obloze podstatně vyšší. Typické objekty Kuiperova pásu mají úhlový pohyb asi 3 vteřiny za hodinu. To umožňuje snímkovat oblohu s poměrně dlouhými expozičními časy, aniž by se na snímku objekt výrazně posunul (praxe je ta, že expoziční čas by neměl překročit dobu, za kterou se těleso posune více, než o kolik ho rozmaže přirozený seeing, chvění atmosféry, což pro tělesa z Kuiperova pásu a velmi kvalitní pozorovací podmínky dává asi 600 s). Naproti tomu Kentauři se mohou pohybovat i rychlostmi až 20 vteřin za hodinu. Během delších expozičních se proto na snímcích „rozmažou“ svým vlastním pohybem a stávají se tak efektivně mnohem slabšími. Jinak řečeno, dlouhé expozice u těchto těles nemají význam a dosah k menším jasnostem se jimi nezvyšují.

2.5. Objekty rozptýleného disku – SDOs

Tyto objekty se na své dráhy dostávají podobným mechanismem jako Kentauři. Od Kentaurů se však liší tím, že jsou naopak vyvrženy na dráhy zasahující daleko za oblasti Kuiperova pásu (rekord v současné době drží těleso 2000 OO67, jehož afélium je ve vzdálenosti 1099 AU od Slunce). Jejich perihelia ale leží v Kuiperově pásu nebo mezi velkými planetami (alespoň u těch známých, většina SDOs byla objevena v blízkosti svých periheliů, protože do větších vzdáleností zatím nelze pozorovat).



Obr. 21: Eris a její měsíc Dysnomia

Objekty rozptýleného disku a Kentauři tak tvoří dvě původem velice podobné skupiny a navzájem se míchají. Tak se z Kentaurů mohou stát SDOs, jestliže dojde k jejich těsnému přiblížení k nějaké z planet. Objektem tohoto typu, který byl dosti dobře pozorován, je těleso 1996 TL66, které se v přísluní dostává až na 35 AU ke Slunci, v odsluní se však nachází 135 AU a dál od Slunce než Země. V únoru 2000 byly objeveny čtyři další TNO s podobným typem dráhy s velkou excentricitou kolem 0,5 a dá se předpokládat, že také některé ze ztracených TNO mohou mít podobné dráhy a bude třeba to brát v úvahu pro jejich znovunalezení [8].

2.5.1. (136199) Eris

Další těleso ze skupiny plutoidů nesoucí název Eris katalogové číslo (136199) získalo předběžné označení 2003 UB313 při svém objevu. Toto těleso pochází z Kuiperova pásu a poprvé bylo pozorováno v roce 21. října 2003. Objekt objevil Michael Brown společně s kolegyní Emily Schaller na observatoři v Mount Palomar.

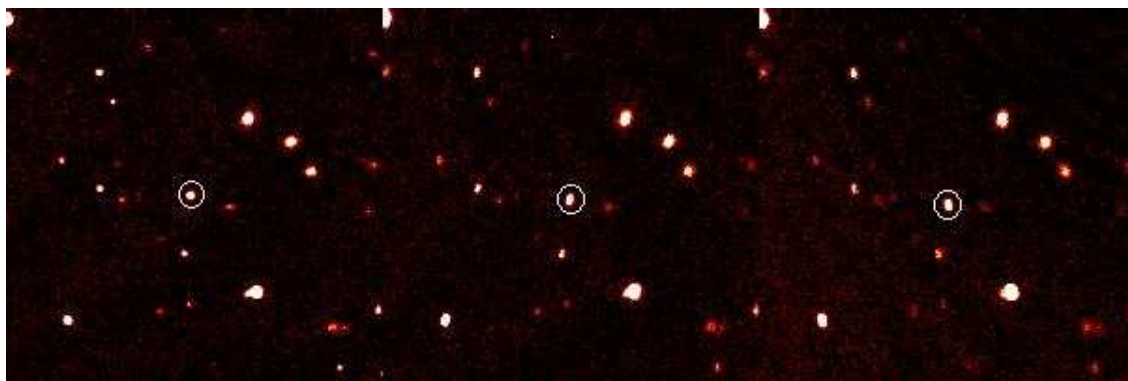


Obr. 22: Kopule observatoře na Mount Palomar

Další pozorování provedené 8. ledna 2005 umožnilo přesně stanovit jeho dráhu.

Bylo zřejmé, že se jedná o velmi velké těleso. Zprvu byl průměr odhadován ke 3000 km, tento odhad chtěli prokázat M. Brown a kolegové, využili k tomu Hubbleův vesmírný dalekohled.

Na základě pozorování z Hubbleova teleskopu získali výsledky k odhadu albeda Eris a dostali neuvěřitelně vysokou hodnotu 86 %, to však ukazovalo na průměr daleko menší než očekávali – pouhé 2 400 km.

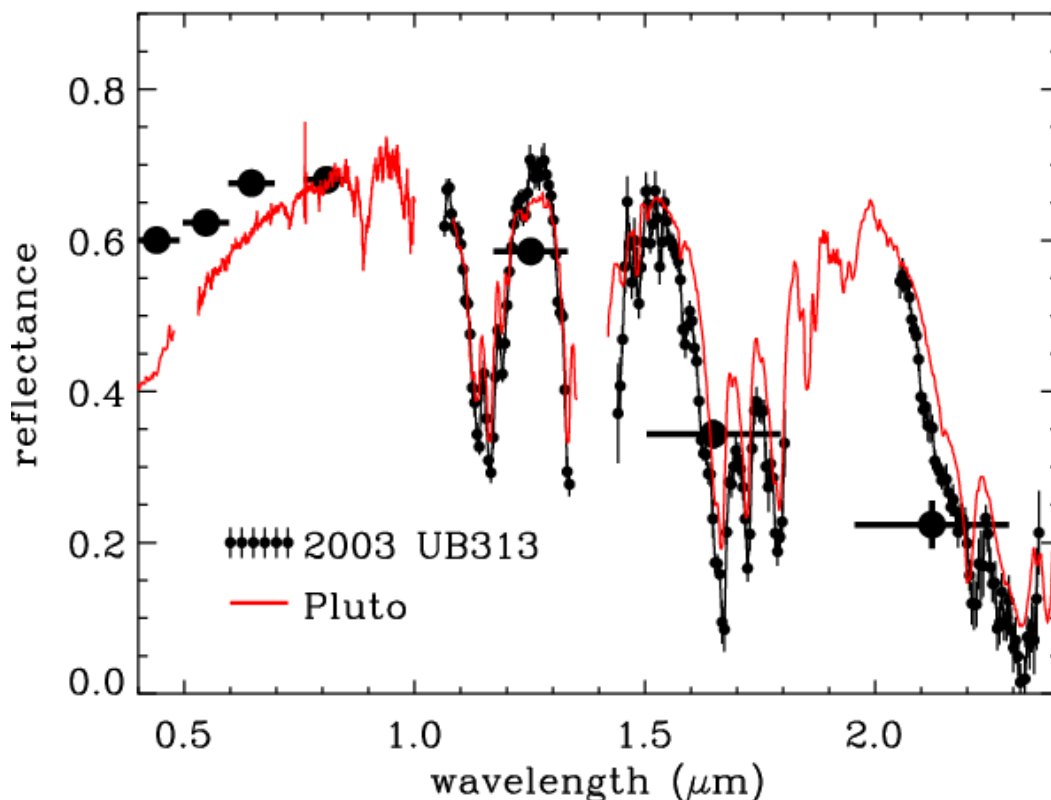


Obr. 23: Objev trpasličí planety Eris, spojeny 3 snímky získané v časových odstupech 1,5 hodiny v noci z 21. října 2003. Eris (zakroužkovaná) měnila svou polohu na snímcích velice pomalu

Další pozorovatelé F. Bertoldi a tým využili odlišný přístup měření provedli pomocí mikrovlnného radioteleskopu *IRAM* obdrželi přijatelnější hodnotu albeda 60 %, což potvrdilo počáteční odhadovanou hodnotu 3 000 km. K oficiálnímu ohlášení objevu nového transneptunického tělesa pak došlo 29. července 2005.

Provedená pozorování přinesla významné upřesnění dráhových charakteristik tohoto tělesa. Velká poloosa tak byla určena na 10 129 137 140 km - přepočteno 67,7091 AU. Perihel byl stanoven na 5 655 979 513 km – přepočteno 37,8079 AU, afel dosahuje 14 602 294 770 km – přepočteno 97,6103 AU (jedná se takřka o rekordní vzdálenost vzhledem k zařazení tohoto tělesa, v době psaní této práce je v přibližné vzdálenosti 96 AU). Perioda (oběžná doba) je spočítána na 557,15 roků. Sklon dráhy k ekliptice je 44,177°.

Na obrázku 24 je znázorněno odrážené množství záření Pluta v porovnání s odrazem záření Eris. Minima v oblastech 1,15; 1,35; 1,7 a 2,3 jsou charakteristickými znaky pro tělesa jejichž povrch je pokryt zmrzlým metanem. Je zřejmé, že Pluto i Eris vykazují podobnou signaturu v odraženém spektru.



Obr. 24: Porovnání množství odraženého záření od Eris (na snímku ještě označeno 2003 UB313)

Vzhledem k poměrně velké vzdálenosti tohoto objektu je relativně složité získat alespoň základní představu o materiálovém složení. V současnosti se tedy soudí, že Eris je ve svém složení podobna nejvíce Plutu. V minulosti se uvažovalo, že většina transneptunických těles je dosti podobného složení, avšak tento předpoklad byl postupně vyvrácen. V případě Eris pak byla hmotnost určena za pomoci průzkumu dráhy jejího měsíce a vlivu tohoto měsíce na dráhu Eris a tohoto systému jako celku. Hmotnost Eris je tedy stanovena na $1,67 \cdot 10^{22}$ kg [12].

Spektroskopická pozorování naznačila, že povrch tohoto tělesa musí být pokryt ledy, tvořenými zkondenzovanými plyny, čímž se podobá povrchu planety Pluto. Eris ale nevykazuje tak načervenalou barvu, je více bílá. Dosud nejpodrobněji provedené spektroskopické studie (4,2 m dalekohled na observatoři „El Roque de los Muchachos” na ostrově La Palma, Španělsko) potvrzují, že vrchní vrstvu tvoří tuhý metan, který však obsahuje značné množství pevného dusíku. Charakter spekter naznačuje, že hlubší vrstvy ledové pokrývky obsahují čistší metan, zatímco povrchové jsou více znečištěny pevným dusíkem. Tento stav souvisí zřejmě s tím, že v průběhu

posledních dvou století se planetka vzdalovala od Slunce k afelu a tím tedy kondenzovaly i méně těžké plyny, zejména právě dusík. Podobně jako Pluto a ostatní velká transneptunická tělesa má i Eris, i když v poněkud menší míře, slabě načervenalou barvu, která se přisuzuje přítomnosti složitých organických látek (tholinů). Růst absorpce směrem ke krátkovlnné části spektra je u tohoto tělesa přibližně poloviční než u Pluta, odhaduje se, že je zde těchto látek méně, což může mít souvislost i s větší průměrnou vzdáleností Eris od Slunce. Jak bylo zmíněno výše, Eris má svého průvodce. Tento objekt byl označen jménem Dysnomia (Eris I). Oběžná dráha měsíce Dysnomia je přibližně kruhová se vzdáleností od centra Eris $37\,350 \pm 140$ km a doba jednoho oběhu byla určena na $15,774 \pm 0,002$ dne.

2.6. Objekty Kuiperova pásu

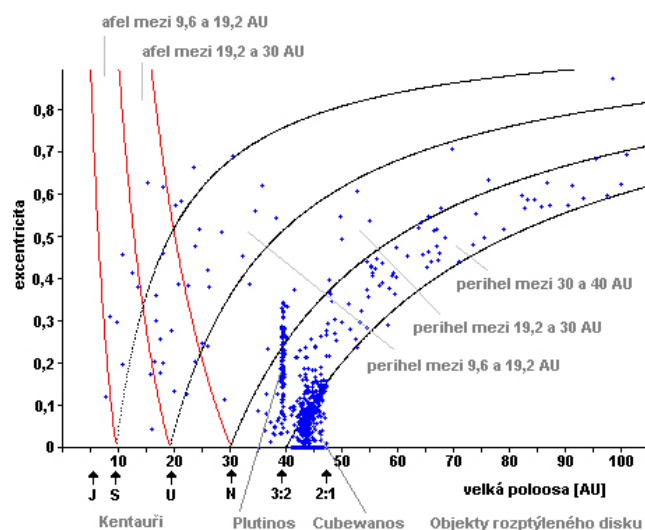
Různé skupiny těles ve vnějších oblastech sluneční soustavy dobře rozlišíme při grafickém znázornění jejich dráhových parametrů, jak již bylo ukázáno na obrázku 25. Na vodorovné ose je velká poloosa dráhy (a) a na svislé excentricita (e).

Jednotlivé body odpovídají známým objektům (některé objekty rozptýleného disku s velkými poloosami nejsou uvažovány). Šipky na dolní straně vyznačují poloosy dráhy od Jupiteru až k Neptunu a rovněž objekty v poměru dráhové rezonance 3:2 a 2:1 s Neptunem. Graf je rozdělen do různých oblastí podle vzdáleností v perihelu:

$$q = a \cdot (1 - e) \quad (5)$$

a afelu:

$$Q = a \cdot (1 + e). \quad (6)$$



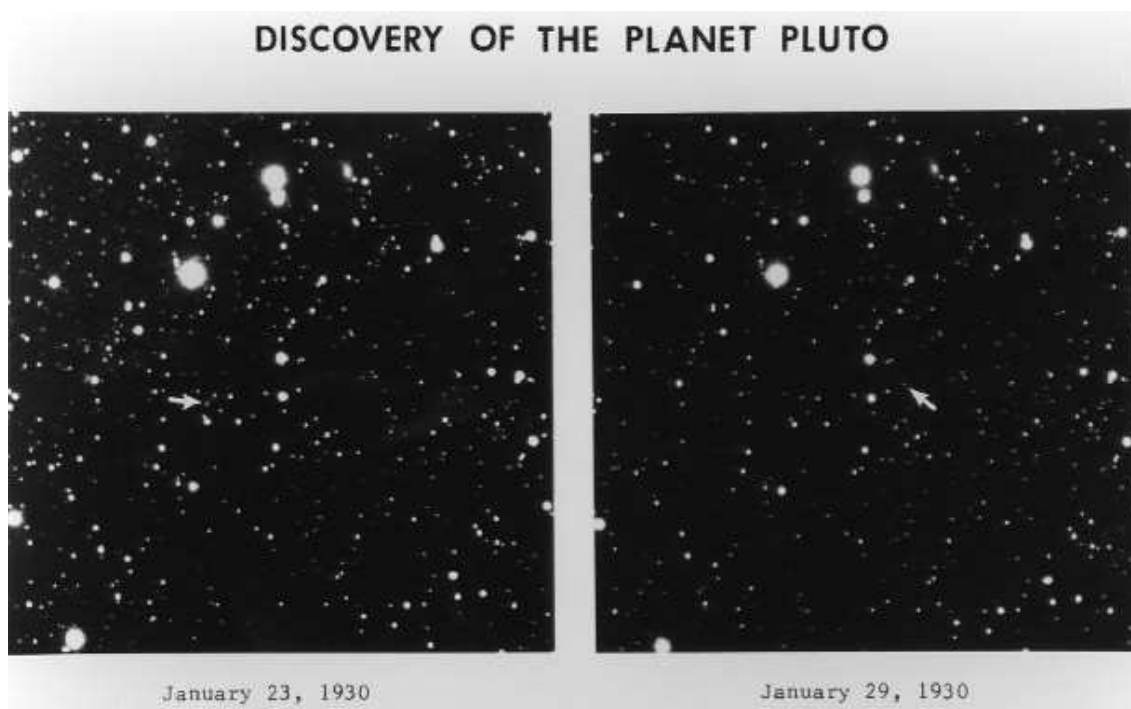
Obr. 25: Rozlišení různých skupin těles ve sluneční soustavě

2.7. Pluto a Charon a extrémně jasná TNO z roku 2005

Rozlišování jednotlivých objektů nacházejících se na úrovni oběžné dráhy Neptunu a dále směrem od Slunce nám poskytuje několik limitních kategorií, kam lze dané objekty zařadit. Rozdělení těchto objektů je sice přesné, ale neposkytuje nám (krom souhrnných informací o dané skupině) detailní informace o každém jednotlivém tělese. Podívejme se tedy na několik významných zástupců z dosud známých transneptunických těles.

2.7.1. (134340) Pluto

Bylo objeveno 18. února 1930 Clydem Tombaughem (objev byl oznámen 2. března 1930) a zařazeno jako devátá planeta sluneční soustavy. Přesto, že bylo považováno za planetu, docházelo často ke spekulacím zda planetou je či není.



Obr. 26: Objev Pluta na původních snímcích z roku 1930

Vliv na tyto spekulace mělo hned několik vlastností. Prvním z nich byl jeho netypicky malý rozměr, dalším byla jeho dráha (vykazuje značnou výstřednost a velký sklon vzhledem k ekliptice). Jeho nízká průměrná hmotnost, vzhledem ke které se odhaduje, že se skládá ze 70 % z hornin a zbytek tvoří směs ledu, tyto pochyby pak podtrhovala. V současné době tak již Pluto nespadá do kategorie planet (jeho statut byl změněn dne

24. srpna 2006 na astronomickém kongresu v Praze, kde bylo ze seznamu planet vyškrtnuto v důsledku přijetí nové definice termínu planeta.).

Dne 13. září 2006 bylo Pluto zařazeno do seznamu planetek a bylo mu přiděleno katalogové číslo 134340.



Obr. 27: Clyde Tombaugh

Na základě rozhodnutí ze dne 11. června 2008 IAU v Oslu bylo Pluto zařazeno do nově vznikající skupiny plutoidů. Připomeňme si tedy definici plutoidů jako takových:

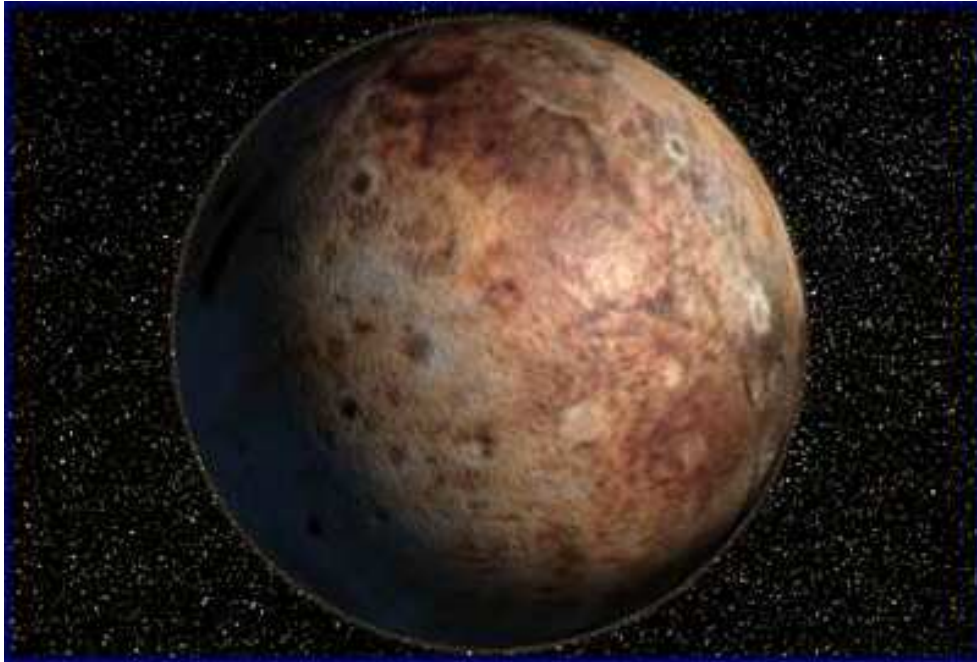
Plutoid je objekt sluneční soustavy, který je podobný planetě a musí splňovat následující kritéria:

- obíhá okolo Slunce ve větší vzdálenosti než Neptun,
- má dostatečnou hmotnost, aby jeho gravitace překonala vnitřní síly a dosáhl přibližně kulového tvaru,
- během svého vývoje nepročistil své okolí tak, aby se stal v dané zóně dominantní a není satelitem.

Přičemž platí, že pojmenovávány mají být pouze takové plutoidy, které mají absolutní hvězdnou velikost větší než +1 mag.

V současnosti jsou známy pouze čtyři objekty, které patří do skupiny plutoidů: Pluto, Makemake, Haumea a Eris.

Při pozorování chování Pluta bylo stanoveno několik jeho dráhových vlastností. Podívejme se tedy detailněji na elementy jeho dráhy. Velká poloosa činí 5 906 376 272 km, přepočteno na AU je velká poloosa = 39,482 AU. Obvod oběžné dráhy byl vypočítán na 244,186 AU. Výstřednost je stanovena na 0,249. Aby bylo možno si utvořit naprosto jasnou představu o čísle, které nám výstřednost udává, je potřeba se podívat hlouběji na definici výstřednosti.



Obr. 28: Umělecké ztvárnění Pluta

Výstřednost (často značená jako e) nebo-li excentricita (odtud značení) dráhy popisuje pohyb kosmického tělesa v prostoru, a to tak, že vyjadřuje kruhovost, resp. nekruhovitost dráhy. Pro kružnici je výstřednost rovna 0. Pro elipsu je výstřednost $0 < e < 1$, pro parabolu pak $e = 1$ a konečně pro hyperbolu je $e > 1$. Vzorec pro výpočet excentricity eliptické dráhy je:

$$e = \frac{\varepsilon}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}, \quad (7)$$

kde ε je lineární excentricita (vzdálenost ohniska od středu kuželosečky), a je velká poloosa a b je malá poloosa. Je však obvyklejší vztahovat excentricitu ke vzdálenostem apsid od těžiště soustavy. Přičemž apsida je bod dráhy kosmického tělesa, v němž se

těleso nachází buď nejbližší nebo nejdále od ohniska dráhy, v ohnisku se pak nachází centrální těleso soustavy, přesněji hmotný střed (těžiště) popisované soustavy kosmických těles. Nejevzdálenější bod od centrálního tělesa se obecně nazývá apoapsida nebo apofokus, nejbližší k centrálnímu tělesu se nazývá periapsida nebo perifokus. Podobný význam mají pojmy apocentrum a pericentrum, nemusí však být zcela identické s apsidami, protože se vztahují k bodům nejvzdálenějším resp. nejbližším k těžišti soustavy. Pro oběžné dráhy kolem specifických centrálních těles mají tyto body obvykle svoje zvláštní názvy. Spojnice apsid se nazývá přímka apsid. Dále je zapotřebí si uvědomit, že dochází ke stáčení periapsidy a to tím, že poloha velké poloosy dráhy tělesa (tedy spojnice apsid) v prostoru se mění. Je to jednak gravitačním vlivem jiných těles, vlivem slapových sil, a také vlivem gravitačního zakřivení prostoru (pozn. vysvětlení stáčení perihelia Merkura mělo velký význam pro přijetí speciální teorie relativity).

Excentricita vztažená ke vzdálenostem apsid je pak definována takto:

$$e = \frac{R_A - R_P}{2a} = \frac{R_A - R_P}{R_A + R_P}, \quad (8)$$

kde R_A a R_P jsou vzdálenosti apoapsidy resp. periapsidy od těžiště a a je opět velká poloosa dráhy. Dalšími vztahy mezi excentricitou a dalšími parametry dráhy jsou:

$$R_{P,A} = a \cdot (1 \pm e). \quad (9)$$

Dalším charakterizujícím dráhovým elementem pro Pluto je perihel, který je roven 4 436 824 613 km což odpovídá 29,658 AU. Afel je pak roven 7 375 927 931 km což odpovídá 49,305 AU. Oběžná doba (perioda) je vypočtena na 90 613,305 dne.

Sklon dráhy k ekliptice je roven 17,142°. Přičemž sklon dráhy nám vyjadřuje úhel, který svírá rovina dráhy se základní rovinou příslušné souřadné soustavy. Značí se i a vyjadřuje se ve stupních. Pro kosmická tělesa obíhající kolem Slunce je touto rovinou rovina ekliptiky, pro kosmická tělesa obíhající kolem planet (např. jejich měsíce nebo umělé družice) je touto rovinou rovina rovníku příslušné planety. Obíhá-li kosmické těleso kolem Slunce ve stejném smyslu, jako obíhají planety nebo kolem planety ve stejném smyslu jako tato planeta rotuje kolem své osy (tedy po tzv. přímé čili progradní

dráze), je hodnota sklonu v rozmezí $0^\circ < i < 90^\circ$. V opačném případě (tedy při oběhu po zpětné čili retrográdní dráze, je hodnota sklonu v rozmezí $90^\circ < i \leq 180^\circ$. Dráhy se sklonem 0° se nazývají rovníkové dráhy, se sklonem 90° se nazývají polární dráhy.

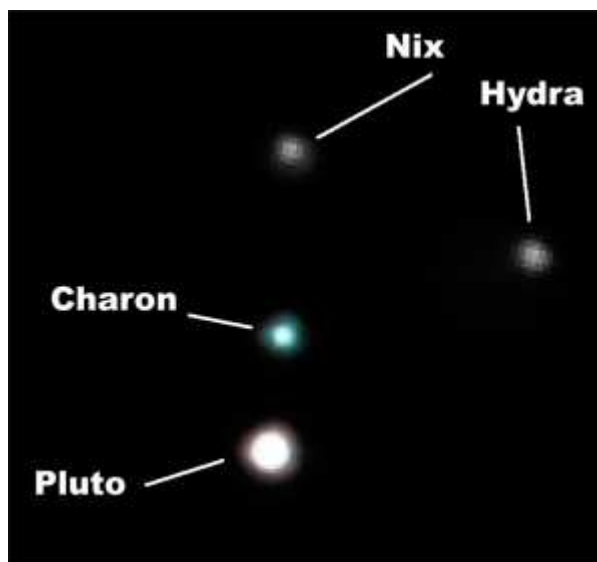
Dráhové elementy však nejsou jedinou charakteristickou vlastností tohoto transneptunického tělesa. Mezi další vlastnosti je tak možno zařadit celkovou hmotnost, která je spočítána na $1,34 \cdot 10^{22}$ kg. Průměrná hustota pak činí $2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Perioda rotace byla na základě pozorování stanovena na 6,387 dne. Průměrná povrchová teplota dosahuje 44 K, velice malý vliv na tuto teplotu má prakticky mizivá atmosféra Pluta, která je převážně složená z dusíku a metanu. Atmosférický tlak se pohybuje v rozmezí 0,15 – 0,30 Pa.

Oběžná dráha Pluta je tedy v rezonanci 3:2 s Neptunem, přičemž během 20 let každého oběhu (periody) se Pluto nachází blíže ke Slunci než planeta Neptun [2].

2.7.1.1. Přirozené satelity Pluta

Přestože se Pluto již neřadí do kategorie planet, můžeme u tohoto transneptunického tělesa nalézt několik přirozených satelitů. Je potřeba připomenout, že výzkum v této oblasti stále probíhá a ne všechny přirozené satelity (měsíce) bylo možné odhalit. Proto vyvolaly 15. května 2005 a 18. května 2005 objevy dvou nových měsíců okolo Pluta rozruch. Na snímcích v okolí planety pořízených kamerou ACS (Advanced Camera for Surveys) z družicové observatoře HST, našel tým astronomů vedených H. A. Weaverem, dva objekty, které jsou v současnosti považovány za měsíce Pluta. Tyto objekty dostaly zprvu předběžná označení S/2005 P1 a S/2005 P2.

V únoru 2006 byla provedena další pozorování kamerou ACS HST v okolí Pluta a zároveň byla potvrzena existence dvou nových družic, objevených v r. 2005, o jasnostech cca 23 mag. Současně bylo vyloučeno až do meze citlivosti kamery ($V = 26,8$ mag) případná existence družic dalších. Stern a spolupracovníci prokázali, že obě družice, v současnosti nazvané Nix (Pluto II = S/2005 P2) a Hydra (Pluto III = S/2005 P1), obíhají kolem Pluta po kruhových drahách v téže rovině jako již známý Charon a jejich oběžné doby jsou v přibližném poměru 1:4:6 a tudíž dlouhodobě stabilní.



Obr. 29: Fotografie Pluto, Charón, Nix a Hydra z 18. května 2005

Průměr nových velmi světlých (albedo 35 % = míra odrazivosti tělesa nebo jeho povrchu. Jde o poměr odraženého elektromagnetického záření ku množství dopadajícího záření. Zlomek, obvykle vyjadřovaný procentuelně od 0 % do 100 %, poměr závisí na frekvenci uvažovaného záření: pokud není specifikována, bere se průměr podél spektra viditelného světla. Závisí také na úhlu dopadu záření: pokud není specifikován, uvažujeme o pravém úhlu) družic byl odhadnut na 60 a 50 km.

Nejpřesnější výsledky měření parametrů soustavy družic Pluta pomocí ACS HST uveřejnili M. Buie a spolupracovníci. Z nich vychází poloměr Pluta 1153 km a Charónu 604 km; hustota Pluta $1,75 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Sklony téměř kruhových drah Charonu, Nix a Hydry jsou vesměs 96° (koplanární dráhy) a oběžné doby po řadě 6,4; 24,9 a 38,2 dne, při vzdálenostech 19 571,487 a 64 780 km od Pluta.

2.7.2. Charón

Z předchozího textu již patrně vyplývá, že největší průvodce Pluta je jeho přirozený satelit Charón, objevený 22. června 1978. Vzhledem k tomu, že není příliš menší než Pluto samotné, hovoří se často o této dvojici těles jako o dvojplanetě.

Charón byl objeven 22. června 1978 americkým astronomem Jamesem Christy, který pracoval v té době na Americké námořní observatoři (U. S. Naval Observatory, USNO) ve Washingtonu, DC při zevrubné prohlídce zvětšených snímků Pluta a jeho okolí, které byly pořízeny v průběhu několika předchozích měsíců. Christy si přitom povšiml slabé

hvězdy, která se periodicky na snímcích objevovala a přemísťovala se. Z toho usoudil, že se může jednat o dosud neznámého průvodce Pluta.

Nejstarší snímky, na nichž bylo toto těleso při systematickém prohledávání archivu snímků spatřeno, byly pořízeny 29. dubna 1965, ale tehdy uniklo pozornosti.

Těleso dostalo přechodné označení S/1978 P1. Po potvrzení jeho existence, jeho objevitel pro něj navrhl jméno Charón, které bylo schváleno Mezinárodní astronomickou unií (IAU) v roce 1985.

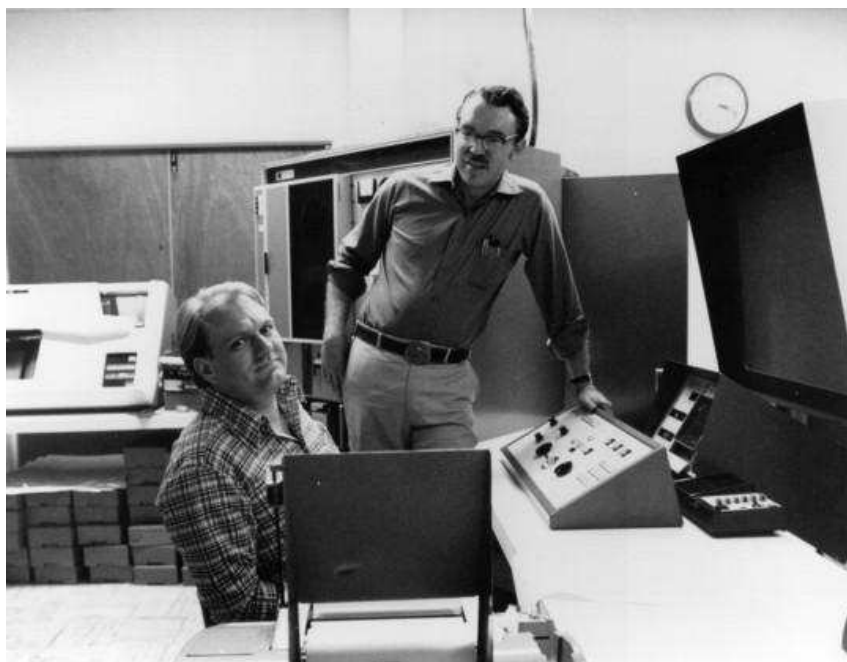
Kromě toho nese také definitivní označení Pluto I; význam tohoto označení se zvýšil v roce 2005, kdy jak již bylo uvedeno, byly objeveny další dva měsíce Pluta.

Velká poloosa Charóna je vypočítána na 19571 km, což je v přepočtu $1,310 \cdot 10^{-4}$ AU. Pericentrum je pak stanoveno na 19571 km a je rovno Apocentru. Albedo Charóna je proměnné a pohybuje se mezi 0,36 až 0,39. Průměrná povrchová teplota byla stanovena na základě pozorování na -220 °C.

Hmotnost Charónu je přibližně osmina hmotnosti Pluta, tedy $1,6 \cdot 10^{21}$ kg. Při dobré znalosti jeho velikosti bylo možno vypočítat i jeho průměrnou hustotu, která činí 1,7násobek hustoty vody. Je tedy přibližně o 20 % nižší, než průměrná hustota Pluta. Z tohoto se odhaduje, že těleso (Charón) je tvořeno z přibližně 63 % horninami, zatímco zbytek je směs ledů (zmrzlá voda a jiné těkavé látky). Je tedy typickým představitelem transneptunických těles. K podobným hodnotám dospěli na základě sledování zmíněného zákrytu pomocí *HST* také B. Sicardy a kolegové. Obdrželi tak celkovou hmotnost soustavy Pluto – Charón $1,5 \cdot 10^{22}$ kg.

Charónův průměr je podle posledních měření přibližně 1208 km v průměru a díky této své velikosti se zformoval do téměř kulového tvaru. Jeho povrch o rozloze $4,56 \cdot 10^6$ km² je tedy pokryt směsí ledů. Průměr Charónu byl nejprve odhadován z jeho pravděpodobného albeda, ale v období od roku 1985 do roku 1990, kdy se Země nacházela v rovině oběhu Charónu kolem Pluta, docházelo k pravidelným vzájemným zákrytům obou těles pozorovatelným ze Země, což značně zlepšilo znalost rozměrů obou těchto těles. V té době se podle různých měření odhadoval průměr Charónu v rozmezí od 1182 do 1256 km.

K datu 11. července 2005 došlo k zákrytu slabé hvězdy v souhvězdí Hada (Serpens Cauda), označení hvězdy C313.2 ($R = 15$ mag); Charónem. Tento jev byl pozorován na observatořích v Austrálii, Polynézii a v Jižní Americe, kam byly vyslány za tímto účelem tři expedice, které využily celkem osm různých dalekohledů na pěti observatořích.



Obr. 30: James Christy (sedící) – objevitel Charóna

Výsledkem pozorování bylo výrazné zpřesnění hodnoty průměru na 1208 ± 3 km. Kromě toho se na základě porovnání výsledků mezi observatořemi zdá, že na jednom místě povrchu Charonu se může nacházet deprese o hloubce až 8 km.

Rotace Charóna kolem vlastní osy je vázaná a její perioda tedy odpovídá periodě oběhu měsíce kolem společného těžiště soustavy Pluto – Charón, tj. přibližně 6,4 dne. Zpomalení rotace obou těles je způsobeno dlouhodobým působením slapových sil.

Při pátrání po možném vzniku Charónu nastaly dvě nejpravděpodobnější možnosti, první tvrdila, že Charón je zachyceným tělesem. To však vyvrátilo tvrzení, že kruhová dráha Charónu kolem těžiště soustavy dvojplanety činí možnost, že je Charón zachyceným tělesem, velmi nepravděpodobnou. Počítačem provedené simulace, které byly publikovány roku 2005 Robinem Campem, poukázali na reálnou možnost, že Charón mohl vzniknout jako důsledek srážky Pluta před $4,5 \cdot 10^9$ let s větším tělesem z Kuiperova pásu.

Trosky vzniklé po této srážce byly následně vyvrženy z povrchu Pluta při sebevražedném dopadu onoho tělesa. A z těchto trosek pak spolu s jeho pozůstatky tvořily základní materiál, z něhož při akreci vznikl Charón. Největším nedostatkem této teorie je okolnost, na jejímž základě by měl Charón obsahovat méně těžkých složek než Pluto. To ale při porovnání středních hustot obou těles vede k opačnému závěru. Řada astronomů se tak z tohoto důvodu přiklání k další teorii, podle níž v průběhu záchytu Charónu Plutem došlo k jejich tečné kolizi. Energie kolize by způsobila jejich

částečné ochuzení o těkavé látky, ale nebyla by dostatečná k tomu, aby je rozbila na drobné úlomky [8], [10].



Obr. 31: Umělecké ztvárnění soustavy Pluto – Charón

2.7.2.1. Soustava Pluto – Charón

Charón na rozdíl od Pluta nemá žádnou měřitelnou atmosféru. To uvedl D. Tholen, je podle jeho vyjádření zcela překvapující, že v rozporu s předpovědí se rozsah atmosféry Pluta, tvořené převážně N_2 , zvětšuje s rostoucí vzdáleností trpasličí planety od Slunce! Poloměr Pluta je proto stále nejistý, v rozsahu 1 151 – 1 195 km.



Obr. 32: Sonda New Horizons ve vesmíru a její start 19. ledna 2006

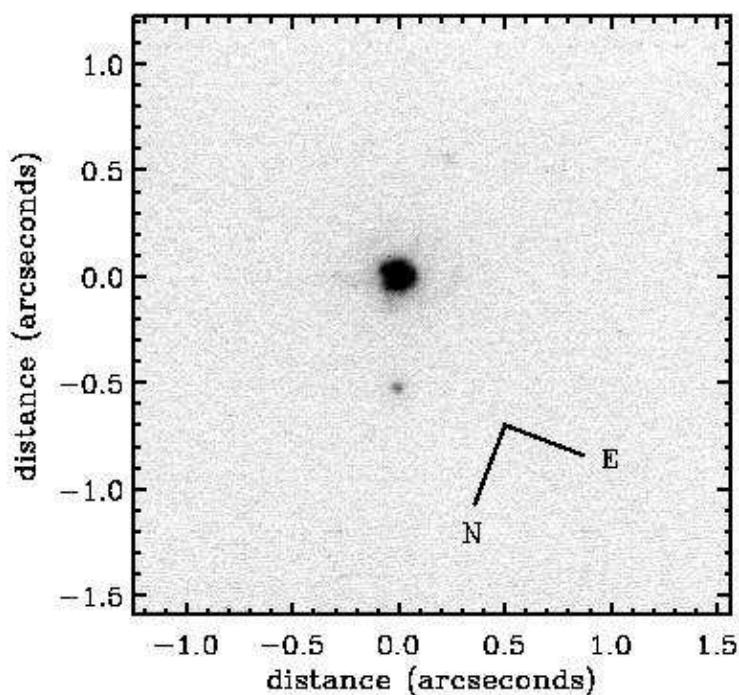
Na povrchu Pluta byl v r. 1976 identifikován led metanu a později dusíku a oxidu uhličitého. Počátkem r. 2006 klesla teplota povrchu Pluta na -230 °C , zatímco na Charónu je -220 °C . Zdá se, že na objasnění mnoha nevyřešených otázek o stavu

soustavy Pluto – Charón si budeme muset počkat minimálně do července 2015, kdy kolem soustavy proletí kosmická sonda New Horizons, vypuštěná po mnoha odkladech 19. ledna 2006 [8].

2.7.3. Extrémně jasná TNO z roku 2005

V červenci 2005 během takřka jednoho víkendu došlo k významnému objevu dvou velice jasných těles, která patří do skupiny transneptunických objektů. Objevy nových těles této kategorie jsou sice významné, ale tato dvě byla jedna z doposud nejjasnějších vůbec (pokud pomineme Pluto) v Kuiperově pásu.

První z nich s označením 2003 EL61, velikostí dosahuje přibližně tří čtvrtin Pluta. Jeho perihel se nachází ve vzdálenosti 52 AU a afel 35 AU. Perioda oběhu tohoto objektu je 285 let. Tento objekt má navíc ještě dva satelity, jež jsou znázorněny na obrázku 11. Jejich objev byl uskutečněn 28. ledna 2005. Byla přitom využita nová technologie laserové projekce na Keck observatoři [13].



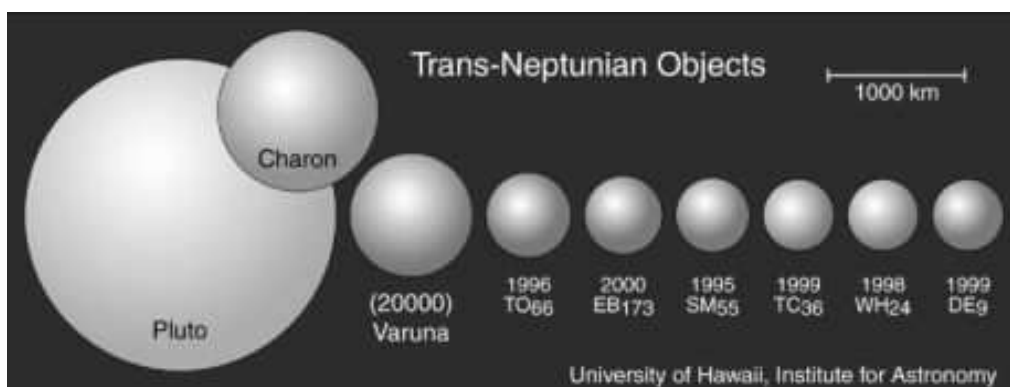
Obr. 33: Zaznamenání pozice satelitů tělesa 2003 EL61, na snímku jsou jako malé tečky v oblasti pod hlavním tělesem a směrem doprava nahoru (méně viditelné)

Druhé těleso nese označení 2005 FY9, a stejně jako předchozí, jeho velikost dosahuje tří čtvrtin Pluta. Perioda byla spočítána na 307 let. Perihel dosahuje 52 AU a afel 39 AU. Toto těleso nemá pozorováno žádný satelit [13].



Obr. 34: Porovnání doposud známých velkých transneptunických těles vzhledem k velikosti Země

Výjimečnost těchto těles opět zdůraznila důležitost výzkumu této oblasti. Mimo extrémní jasnosti, kterou tato tělesa vykazují, stojí za pozornost i další charakteristiky tělesa 2003 EL61.



Obr. 35: Seřazení vybraných transneptunických těles (provedeno na University of Hawaii, Institut pro astronomii)

2.7.4. Objekt 2003 EL61 – (136108) Haumea

Po dlouhých diskuzích přijala Mezinárodní astronomická unie jména pro transneptunickou trpasličí planetu zpočátku známou pod označením 2003 EL61, zároveň byly pojmenovány i satelity tohoto tělesa.

2003 EL61 je tak dnes známo pod katalogovým označením (136108) Haumea – jméno bylo zvoleno z havajské mytologie. Pojmenování satelitů bylo voleno ze stejné oblasti, Haumea tak má v nynější satelity pojmenována jako Hi'iaka a Namaka.

M. Brown ji řadí na třetí místo v trpasličích planetách v oblasti za Neptunem, tedy hned po Plutu a Eris. Podle jeho vyjádření na stránkách věnovaných Haumeae <http://www.gps.caltech.edu/~mbrown/2003EL61/> (ověřeno 9.2.2009) se často stává, že při objevu takovýchto těles nelze okamžitě určit jejich velikost a světlost. To jakou mají světlost je určováno na základě odraženého slunečního záření. Avšak zjištění samotné odrazivosti ještě nepřináší definitivní výsledek o velikosti tělesa, neboť mohou nastat dva případy těleso má velkou odrazivost a je velké nebo může být malé, ale jeho velká odrazivost je způsobena jeho povrchem pokrytým ledem (podobně jako sněhová koule). Stanovení velikosti a hmotnosti je tak stále ještě problematické. V případě Haumeae přálo M. Brownovi a jeho kolegům štěstí, neboť krátce po objevení Haumeae pozorovali její satelit. Pozorováním satelitu na jeho oběžné dráze po dobu delší než 6 měsíců přineslo výsledky v podobě velice přesného stanovení hmotnosti Haumeae a pozorovaného satelitu. V tuto chvíli se tedy udává (již bylo zmíněno výše), že Haumeae dosahuje přibližně 32 % hmotnosti Pluta. Dále podle M. Browna je určení hmotnosti Haumeae sice přesné, ale nepřináší informaci o její velikosti. Tvarem těleso připomíná cosi mezi tlustým doutníkem a splasklým ragbyovým míčem. Tento tvar je jednak výsledkem velmi rychlé rotace (jedna otočka přibližně za 4 hodiny) a pravděpodobně srážkou s jiným tělesem v minulosti (předpoklad je, že ta by mohla vést i k oné velké rotaci). M. Brown s kolegy dále předpokládal, že skalnatá tělesa s větší hustotou se budou méně deformovat než tělesa s menší hustotou. Pozorováním intenzity deformace při rotaci mohli stanovit hustotu. Zjistili, že Haumea musí být tvořená převážně skalnatá. Jakmile měli informaci o její hustotě a váze dopočítali její velikost. Odpovědí jim bylo, že nejdelší osa Haumeae je přibližně stejně dlouhá jako průměr Pluta.

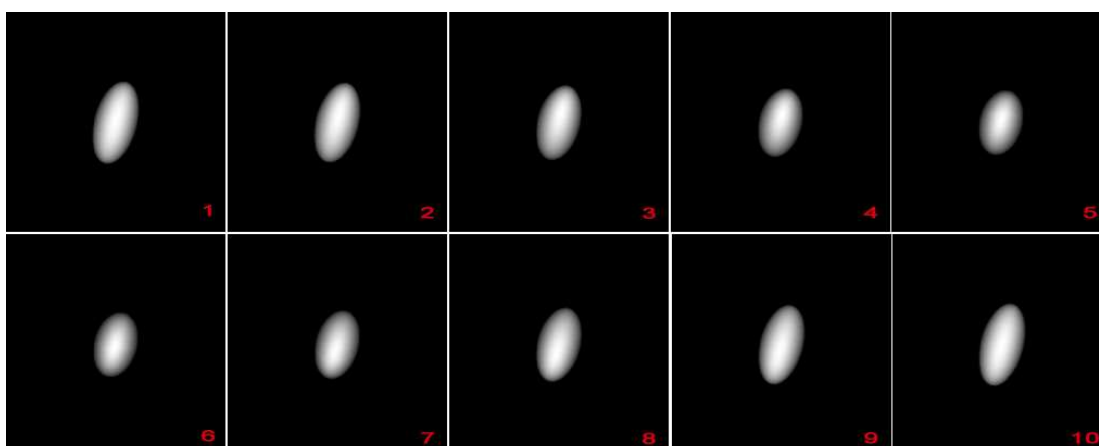
Jak je patrné z předchozího je těleso nejen velmi jasné, ale v sluneční soustavě nenalezneme žádné jiné (dle M. Browna), které by bylo tak velké a podlouhlé a tak rychle rotovalo [14].

Poněkud smutnou výjimečnost drží toto těleso i v situaci svého kolem objevu. Ten byl oznámen v červenci 2005 s tím, že se jedná o zpracování snímků z roku 2003 pořízených španělskými astronomy na Sierra Nevada Observatory. Velmi brzy však vyvstalo podezření, že španělský tým našel těleso na svých snímcích jen proto, že použil neeticky on-line počítačové záznamy o pozorováních týmu M. Browna, který

svůj objev v té době ještě neoznámil Minor Planet Center, avizoval jej však už v abstraktu na připravovanou konferenci. Celá situace vedla k mnoha rozepřím a její definitivní rozřešení zůstane zřejmě na budoucích historických astronomie.

Brownův tým však bez ohledu na to pokračoval ve výzkumu vlastností neobvyklého tělesa, objevil i rodinu nejméně sedmi dalších transneptunických těles v jejím okolí, přičemž obojí zřejmě vzniklo při dávné srážce 2003 EL61 s jiným transneptunickým tělesem. V tomto kontextu je pak snáze pochopitelné proč bylo tělesu 2003 EL61 přiděleno jméno Haumea – neboť podle havajské mytologie je to bohyně plodnosti a porodu.

Jejích mnoho dětí se zrodilo z různých částí jejího těla. Objevovala se v mnoha různých podobách a prošla mnoha znovuzrozeními. Jako bohyně země představuje zároveň prvek kámen. Pojmenování vnějšího a většího satelitu jako Hi'iaka pak vychází v mytologii ze zrodu z Haumeiných úst. Vnitřní satelit nese jméno Namaka, což je vodní bytost z havajské mytologie.



Obr. 36: Rozložená sekvence kmitání Haumeae. Je patrné, že v průběhu pozorování těleso rotuje

Po podrobné interpretaci světelné křivky se zjistilo, že těleso má průměr téměř 2000 kilometrů. Avšak poměr velké a malé osy je 2:1. V současnosti je zařazován do kategorie poměrně lesklých těles, přičemž zajímavostí je pořízené infračervené spektrum. V něm je velice výrazný spektrální pás, podle něj lze rozpoznat několik dalších těles. Hypotéza předpokládá, že tělesa mající takovýto blízce podobný spektrální pás, tvoří jakousi rodinu planetek. Do této rodiny samozřejmě patří Haumea, její dva satelity a dalších 5 těles rozptýlených v blízkém okolí. Hypoteticky by se mohlo jednat o kolizní rodinu, pozůstatek srážky. Problematika výzkumu takovýchto rodin

spočívá ve velkých rychlostech s jakými se vzniklé fragmenty po srážce vzdalují a vlivem velké vzdálenosti od Slunce se dramaticky mění i dráha tělesa. Kolizní rodinu pak často nelze hledat pouze v omezeném regionu, pokud ji takto vůbec hledat lze. Proto je používána identifikace ve spektrální oblasti, která zaručuje mnohem vyšší přesnost určení.

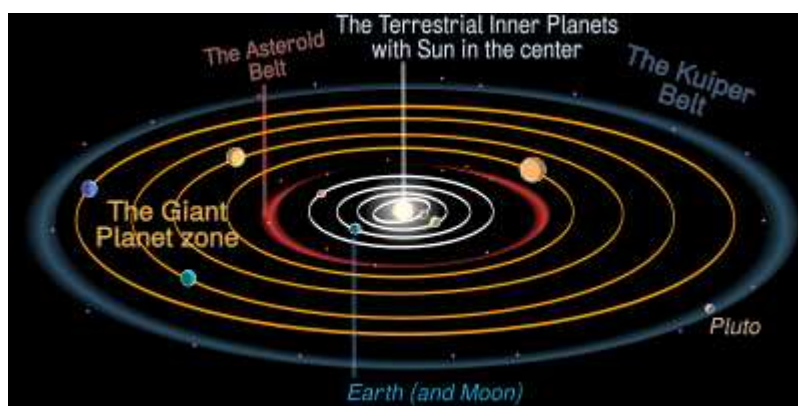
2.7.5. Vybrané zajímavé objekty Kuiperova pásu

Extrémně jasná tělesa, která vyvolala intenzivní pozornost astronomické veřejnosti však nebyla jediným úkazem v této oblasti, který upozornil na důležitost studia problematiky objektů v Kuiperově pásu a transneptunických těles. V podstatě bychom mohli konstatovat, že většina objektů v této oblasti je něčím výjimečná.

2.7.5.1. Podivný objekt (2008 KV42) Dracula

Jednou z mnoha zajímavostí v oblasti transneptunických těles je i objekt jenž byl objeven poměrně nedávno. Jedná se těleso 2008 KV42. Objeveno bylo týmem pozorovatelů vedených Brettem Gladmanem z University of British Columbia, kteří jej poprvé pozorovali v květnu v roce 2008.

Přestože má těleso oficiální jméno 2008 KV42, je v astronomických kruzích taktéž nazýváno svou přezdívkou Drac, která pochází z Dracula (celé jméno bylo používáno pro název bytosti představující upíra, který má schopnost chodit po stěnách).



Obr. 37: Pohled na sluneční soustavu

Použití takového označení plyne z naprosto odlišných dráhových vlastností tohoto tělesa. Zároveň je tento transneptunický objekt velkou raritou sluneční soustavy, proč je tomu tak by nám z velké části ozřejmil již jediný pohled na sluneční soustavu shora (resp. na její dráhový diagram).

Pokud bychom se totiž dívali na naši sluneční soustavu shora, zjistili bychom, že drtivá většina těles naší soustavy obíhá jedním směrem. Výjimku v tomto pohledu tvoří některé komety, nebo měsíce obřích planet. Do této výjimky patří i objekt 2008 KV42. Pohyb po takovéto „výjimečné“ dráze se nazývá retrográdní. To však není jediným faktorem, který tvoří zvláštnost tohoto tělesa. Sklon jeho oběžné dráhy vůči rovině ekliptiky je B. Gladmanem udáván na $103,5^\circ$. V důsledku toho se pak při průřezu jeho dráhy do roviny oběhu ostatních těles jeví jeho pohyb jako protisměrný. Tento pohyb je většinou charakterický pro dlouhoperiodické komety, přicházející z Oortova oblaku komet. Z tohoto faktu pak zřejmě autoři vytvořili onu přezdívku Drac.

Velikost tělesa stanovil B. Gladman s týmem na 50 km (autor používal jednotky v mílích – tedy 30 mil). Pro těleso je dále současné době na základě pozorování usuzováno, že má poměrně stabilní dráhu s přísluním ve vzdálenosti 20 AU od Slunce a v odsluní by se mělo nacházet ve vzdálenosti 70 AU. Ačkoliv je tedy zjevné, že objekt 2008 KV42 se v současnosti hlavně v Kuiperově pásu, autoři soudí, že rozhodně z této oblasti nepochází.



Obr. 38: Zobrazení dráhového orbitu 2008 KV42, pohled je v rovině s velkými planety sluneční soustavy. Pro dokreslení jsou přidány dráhové orbity Pluta, Neptunu a rozložení dráhových orbitů ostatních těles Kuiperova pásu

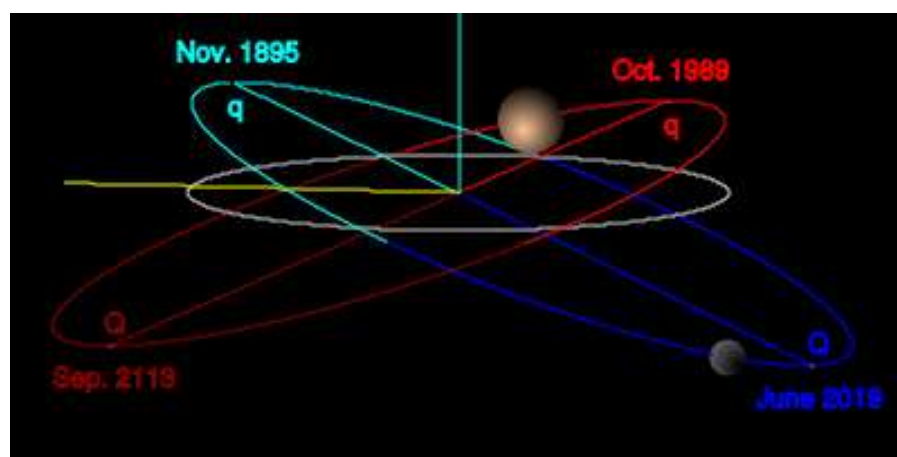
Vychází z toho, že Kuiperův pás se rozkládá do vzdálenosti cca 55 AU od Neptunu, což je pro běžné pozorování takřka nepředstavitelná vzdálenost, ale stále se jedná o relativně blízkou oblast sluneční soustavy, a vzhledem k charakteristikám oběžné dráhy Draca a jeho vzdálenostem v odsluní autoři soudí, že je mnohem více pravděpodobnější jeho původ je z Oortova oblaku, který bude nejen zdrojem dlouhoperiodických komet, ale i poměrně velkého množství dalších těles. Pozorovatelé navíc soudí, že stejně jako je tomu u vzniku dlouhoperiodických komet (zřejmě gravitační interakce, které je pak

nasměrují do vnitřních oblastí naší soustavy, kde je pozorujeme), je původ objektu 2008 KV42 podobný. Teorie předpokládá, že těleso přišlo konkrétněji z vnitřní oblasti Oortova oblaku, tedy z míst 2000 AU – 5000 AU vzdálených. A to co jej přimělo doputovat tak blízko k Slunci je stále ještě zdrojem spekulací a dalších teorií. Nejčastější názory tvrdí, že těleso bylo zřejmě vychýleno z dráhy průchodem jakési hvězdy, popřípadě působením nějaké další poruchy v dané oblasti.

B.Gladman dále spolu s kolegy se přiklání k tvrzení, že těleso by mohlo být tranzitním objektem, který se vlivem další poruchy a přiblížením ke Slunci, může stát podobným objektem jako je například Halleyova kometa. V návaznosti na prezentovaný objekt B.Gladman uvádí, že objevili ještě dalších 20 transneptunických těles s podobným dráhovým sklonem, avšak toto je první z nich, které má retrográdní dráhu. Na tomto podkladě pak usuzují, že by objekt 2008 KV42 mohl být jakýmsi spojovacím můstkem mezi relativně blízkými tělesy Kuiperova pásu a hranicí sluneční soustavy – tedy Oortovův oblak.

2.7.5.2. (90482) Orcus

Orcus, předbežné označení 2004 DW, v katalozích v současnosti zapsán pod označením (90482) Orcus. Objeven byl 17. února 2004, ačkoliv historie předobjevových snímků spadá až do ranných 50. let minulého století – 8. listopadu 1951.



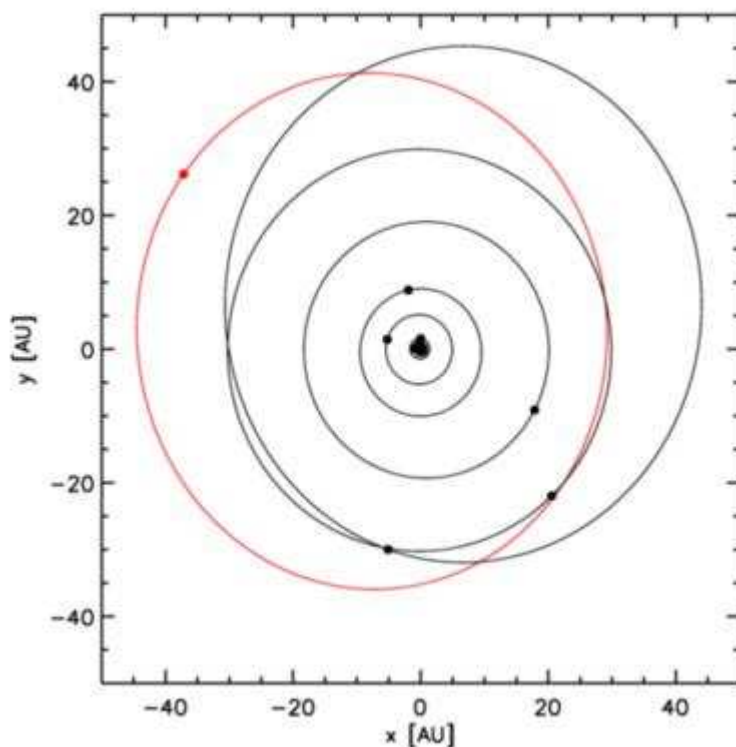
Obr. 39: Zobrazení dráhy Orcu (modře), Pluta (červeně) a Neptunu (šedě). Uvedené datумы odpovídají jejich průchodu perihéliem (označeno q) a aféliem (Q)

Pojmenování pochází z římské mytologie, kde Orcus byl bohem mrtvých. Označení Orcus bylo schváleno Mezinárodní astronomickou unií (IAU) 22. listopadu 2004. Objev

byl ohlášen astronomy Michaelem Brownem z Caltechu, Chadwickem Trujillem z observatoře Gemini a Davidem Rabinowitzem z Yale University.

Orcus představuje jednoho z typických zástupců plutín a to díky své oběžné dráze, která je v rezonanci s Neptunem v poměru 2:3. Tato dráha má podobný tvar jako dráha Pluta a stejně jako u Pluta je perihélium Orcuse nad rovinou ekliptiky. Její orientace je, ale od dráhy Pluta odlišná.

V jednom bodě dochází ke křížení dráhy s Neptunem, ale rezonance způsobuje, že si od sebe udržují trvalý odstup 60 obloukových stupňů. Kolem Slunce oběhne Orcus jednou za 245,33 roků. Při stanovování velikosti Ch. Trujilla na svých stránkách uvádí, že informace o vzdálenosti a jasnosti byly spíše hrubšího charakteru a proto i stanovení velikosti nebylo nikterak přesné. Přesto odhadli, že objekt bude mít přibližně 1600 km v průměru. Pokud by se dalším měřením tento odhad potvrdil, byl by Orcus větší než Charón a zároveň by mu podle Ch. Trujilla patřilo prvenství mezi malými tělesy sluneční soustavy.



Obr. 40: Zobrazení oběžné dráhy Orcu (červeně), první největší šedě zobrazená dráha pak odpovídá Plutu, přičemž z obrázku plyne zajímavé srovnání právě s drahou Pluta. Ostatní dráhy směrem doprostřed odpovídají drahám velkých planet sluneční soustavy

Ch. Trujill dále pokračuje, že Orcus se od nás nachází přibližně ve vzdálenosti 45 AU, což je dále než Pluto nebo Neptun (obojí jsou přibližně ve vzdálenosti do 30 AU od nás) – jen pro zajímavost dodává, že světlu ze Slunce trvá přibližně 6 hodin než dorazí k Orcu.

Pozorováním v infračerveném spektru na Evropské jižní observatoři bylo usouzeno na přítomnost příměsí vodního ledu a uhlíkatých sloučenin. Další pozorování dalekohledem observatoře Gemini potvrdila známky ledu asi na 15 – 30 procentech povrchu. Zbytek by měl pokrývat zmrzlý metan (asi 30 %) [15].

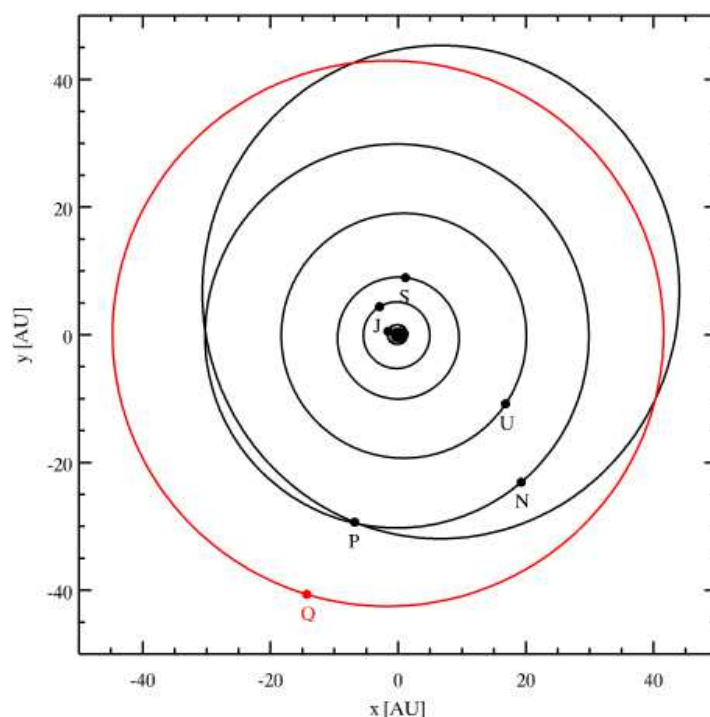
2.7.5.3. (50000) Quaoar

Quaoar v katalogích zapsaných jako (50000) Quaoar, bylo objeveno 4. června 2002 astronomy Ch. Trujillem a M. Brownem na fotografiích pořízených na observatoři Mount Palomar. Pojmenování bylo dáno po božstvu spojovaném v mytologii indiánského kmene Tongva se stvořením světa. Těleso je kandidátem na zařazení mezi tzv. trpasličí planety.



Obr. 41: Rozložená sekvence pohybu Quoaru z fotografií, na kterých došlo k jeho objevu, fotografie byly pořízeny v 90 minutových intervalech

Ch. Trujilla na svých stránkách <http://www.chadtrujillo.com/quaoar/> uvádí, že se jedná o dosud známý největší objekt Kuiperova pásu. Měl by dle Trujilla dosahovat 1/8 průměru Pluta, tedy přibližně 1250 km [16]. Novější měření ale naznačila, že je možná až o 400 km menší. Quaoar kolem Slunce obíhá po takřka kruhové, vůči rovině ekliptiky, jen mírně nakloněné dráze ve vzdálenosti asi 6 miliard km, excentricita je menší 0,04 což v důsledku znamená, že vzdálenost od Slunce kolísá maximálně o 8 %. Tímto se velice odlišuje od Pluta, jehož excentricita je podle Ch. Trujilla 6-krát větší.



Obr. 42: Oběžná dráha Quoarů okolo Slunce. Quaoar označen Q, další P = Pluto, N = Neptun, U = Uran, S = Saturn, J = Jupiter. Ostatní planety již není možno rozlišit, vzhledem k proporčním poměrům

Jeho oběžná doba je přibližně 285 let. Trujill dále uvádí, že od nás je Quaoar vzdálen přibližně 42 AU – světlu tak trvá přibližně 5 hodin dosažení jeho povrchu.

Těleso je tvořeno směsí kamení a vodního ledu s malou příměsí metanu a etanu. Obíhá kolem něj malý satelit, jehož průměr astronomové odhadují přibližně na 100 km.

2.7.5.4. (136472) Makemake

Trpasličí planeta nesoucí katalogové označení (136472) Makemake, vyskytující se za oběžnou dráhou Neptun, byla při svém objevu dne 31. března 2005 původně označena jako 2005 FY₉. Formálně byla klasifikována jako plutoid až 11. července 2008. Na objevu se podílel opět Mike Brown z Caltechu spolu se svým týmem.

Oběžná dráha se rozprostírá ve vzdálenosti od 38AU do 53AU od Slunce. Nachází se tedy v ještě větší vzdálenosti než Pluto. Její průměr je odhadován na 1500 km, vzhledem k tomu je, co do velikosti, kandidátem na 3. místo po Plutu a Eris v trpasličích planetách.

Mezi další její „výjimečnosti“ patří její jasnost. V současné době se jedná o nejjasnější transneptunické těleso po Plutu. Vzhledem ke své zdánlivé jasnosti dosahující 16,7 mag,

je možno ji pozorovat i výkonnějšími amatérskými dalekohledy. Důvodem této její jasnosti je vysoké albedo (odrazivost světla).

Jméno Makemake představuje název pro stvořitele lidstva a boha plodnosti uctívaného zejména na jihopacifickém Velikonočním ostrově.

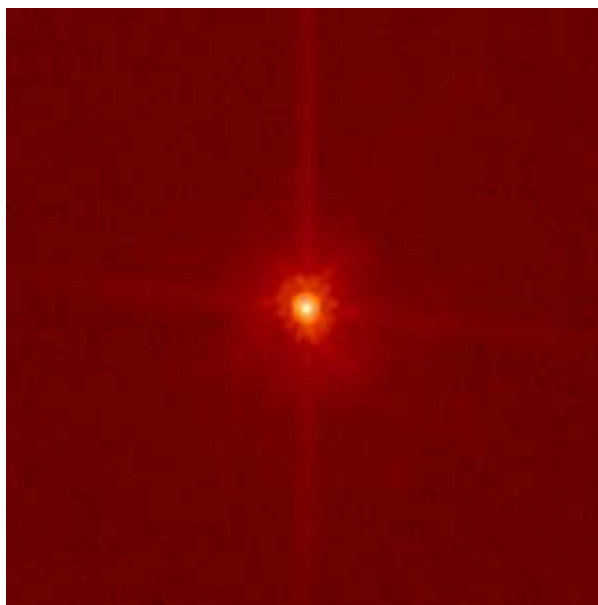
Z rozhovoru s Miroslavem Brožem z astronomického ústavu Univerzity Karlovy v Praze, pro Český rozhlas Leonardo vyplývá, že albedo je velice blízko 80 % (pro porovnání, čistý bílý sníh má přibližně stejnou odrazivost).

Makemake je tak velice „lesklým tělesem“. Existuje několik hypotéz, které se snaží vysvětlit tento stav. Zatím nejpravděpodobnější z nich (čeká na potvrzení) se je teorie zamrzlé atmosféry, která by se v minulosti na Makemake nacházela (teoreticky by podobný proces mohl probíhat i na Plutu).

V trajektorii blíže Slunci by byla atmosféra více rozvinuta jako plyn nad povrchem, zatímco ve větší vzdálenosti by docházelo k zmrznutí. Takto zmrzlý řídký plyn je častou příčinou vytváření odrazivých ploch na povrchu).

Předpokládá se, že z velké části je tento zmrzlý plyn na Makemake tvořen metanem, teplota na povrchu má „dosahovat“ $-240\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Další zajímavostí je, že dosud nebyl objeven žádný satelit, který by patřil tomuto tělesu (pro ostatní tělesa bývá takřka pravidle, že mají jeden nebo více satelitů) [17].



Obr. 43: Makemake zaznamenaná Hubbleovým teleskopem

3. Astronomický ústav AVČR v Ondřejově

3.1. Historie

Vznik hvězdárny v Ondřejově pod vedením J. J. Friče je zaznamenán roku 1898. Tehdy tento továrník zakoupil pozemky pro vědecké účely a v nadmořské výšce 528 metrů nad mořem vybudoval soukromou hvězdárnu. Později, roku 1928 bylo toto zařízení věnováno tehdejšímu československému státu. Využívána byla především Univerzitou Karlovou.

V roce 1949 byla vystavěna budova radioastronomie a o několik let později budova slunečního oddělení. K 1. 1. 1954 se sloučila s tehdejší Státní hvězdárnou v Praze za vzniku Astronomický ústav Československé akademie věd. Poté roku 1967 došlo k uvedení do provozu dominanty observatoře a to v budově dvoumetrového dalekohledu. Ke konci roku 1992 se z Astronomického ústavu stalo pracoviště Akademie věd České republiky a roku 1993 se přestěhovalo sídlo do Ondřejova. Pražské pracoviště bylo přestěhováno do budovy Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky. Historické kopule hvězdárny je v současné době využívána jako muzeum.

V současné době je pod astronomickým ústavem akademie věd v České republice čtyři oddělení z nichž každé se zabývá samostatnou výzkumnou činností. Počínaje slunečním oddělením, které se zabývá studiem a výzkumem nám nejbližší hvězdy (Slunce), přičemž hlavní část je věnována studiu slunečních erupcí.

Dalším oddělením je stelární oddělení, které se zaměřuje na multispektrální (rentgenový, ultrafialový a optický obor) výzkum galaktických a extragalaktických objektů. Základními oblastmi jsou dvojhvězdy, modely hvězdných atmosfér, hydrodynamika hvězdného větru a analýza získaných dat.

Třetím oddělením je oddělení meziplanetární hmoty, které se zabývá interakcemi meziplanetární hmoty s atmosférou Země, asteroidy a kometami. Snaží se o studium a popis dějů, které nastávají při průniku meteoroidů nadzvukovou rychlostí do atmosféry Země.

A posledním je oddělení galaxií a planetárních systémů, které se specializuje na výzkum vlastností vybraných těles sluneční soustavy a galaxií. V oblasti studia sluneční soustavy se soustředí především na globální dynamiku a tvar Země.

3.2. Pozorování v Ondřejově

Vlastní pozorování bylo provedeno na 0,65 metrovém dalekohledu, doplněném CCD kamerou, v noci z 31. března 2009 na 1. dubna 2009.

Pozorování bylo provedeno pod dohledem pracovníků observatoře v Ondřejově Mgr. Petra Kušniráka a Kamila Hornocha.

3.2.1. Nezbytné úkony k pozorování TNO

Pro začátek každého pozorování je nutné učinit několik naprosto nezbytných úkonů, bez nichž vlastní pozorování nemá smysl. Výjimkou nebylo ani vlastní pozorování vykonané na observatoři v Ondřejově (zde musím ještě jednou poděkovat pracovníkům observatoře, že mne s těmito úkony nejen seznámili, ale i provedli a vysvětlili jejich důležitost).

Pozorování bylo provedeno na 8 metrové kopuli observatoře, která je na obrázku 44. Při přípravě spočívající v otevření kopule, zapnutí napájení pro techniku a počítače, bylo zároveň nutné nastavit a zkontrolovat čas a datum na obslužných PC, pro přesnou časovou identifikaci.



Obr. 44: Kopule 65-cm dalekohledu pro pozorování planetek v Ondřejově

Následně se restartovala čidla na CCD kameře, nastavila se teplota, na které má kamera pracovat a spustilo se chlazení, které zaručuje teplotní stabilitu pro čip kamery, provozní teplota kamery byla nastavena dle doporučení výrobce na $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Po těchto „základních“ úkonech přichází na řadu kalibrace softwaru. Postupuje se tak, že se nejprve vytvoří dark-frame snímek na kameře. Ten se vytvoří snímáním kamery při zavřeném víku, takže na čip nedopadá žádné světlo. Zde se projevuje vlastní šumění čipu kamery. Tento snímek má význam právě pro stanovení vlastního šumu na čipu, který se pak vždy odečítá od každého sejmutého snímku. Dark-frame snímkování se obvykle provádí před zahájením a po skončení samotného pozorování.

Dalším krokem (který se však provádí méně často) je vytvoření tzv. flat-fieldu. Jedná se o vytvoření snímku, kdy je dalekohled nasměrován na rovnoměrně osvětlené pole (to bývá buď při soumraku nebo za svítání). Další podmínkou pro tvorbu flat-fieldu je, aby světlost při jeho vzniku byla přibližně nad polovinou dynamického rozsahu čipu.



Obr. 45: CCD kamera teleskopu

Na obrázku 45 je fotografie CCD kamery použité na teleskopu v 8 metrové kopuli, kde bylo pozorování provedeno. Rozlišení kamery je 2184 (šířka) \times 1472 (výška) v pixelech, při velikosti jednoho pixelu $6,8\text{ }\mu\text{m}$ (šířka) \times $6,8\text{ }\mu\text{m}$ (výška). Tento model G2-3200 používá čip s označením 3,2 MPx CCD Kodak KAF-3200ME Class 1, jehož tepelný šum je od výrobce udáván $0,8\text{ e}^{-}\cdot\text{s}^{-1}$ na pixel při teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Obraz je převáděn 16 bitovým AD převodníkem s dvojitým vzorkováním a přenášen přes USB port.

3.3. Vlastní pozorování

Po „nezbytných“ úkonech se přistupuje k vlastnímu pozorování. Jelikož jsou pozorovací možnosti velmi závislé jednak na poloze observatoře a jednak na počasí nad danou oblastí, vybral jsem po konzultaci se pracovníky observatoře jako nejdůležitějšího zástupce transneptunických objektů, dobře pozorovatelných z dané lokace, Makemake. Dráha Makemake je zdokumentována a tak nastavení dalekohledu spočívalo v přesné identifikaci polohy jejího současného výskytu za využití dostupných informací z internetových katalogů pro astronomická centra.

Po nastavení dalekohledu bylo se provedlo zaostření na danou oblast, přičemž ostření se nastavuje softwarově a mechanicky je řízeno krokovým motorem jenž posouvá samotnou kameru.

CCD kamera, instalovaná v teleskopu na 8 metrové kopuli pracuje při rozlišení přibližně 3 Mpix.

3.3.1. Fotometrie Makemake

Přestože vzdálenost transneptunických těles neumožňuje pořízení poutavých fotografií detailu povrchu typu Mars nebo Měsíc, je na základě výsledků z fotometrie možno stanovit některé základní informace o takto pozorovaném tělese. Problematika rodin transneptunických objektů již byla popsána v předchozích kapitolách, přesto lze zdůraznit, že stanovení toho zda tělesa v dané oblasti pocházejí z nějaké srážky či ne, je často časově a výpočetně velmi náročná činnost.

Dalším zdánlivě nedůležitým faktem je role vzdálenosti od pozorovaného objektu. V případě Makemake se tento faktor promítá značným způsobem do výsledných obrazových výstupů. Vezme-li v úvahu vzdálenost a trajektorii, kde se Makemake jednak nachází a kterou opisuje, lze snadno dospět k závěru, že i přes její značnou rychlost bude pozorovatel na Zemi moci zaznamenat velice malý rozdíl v její poloze. Z tohoto důvodu se fotometrie provádí většinou ne spojitě, ale po určitých časových úsecích.

Výstupy z takto vzniklých sérií se pak softwarově poskládají a získáme obraz s několika různými polohami pozorovaného objektu relativní k ostatním objektům, jež jsou statické. Počet výskytu těchto poloh pak odpovídá počtu provedených fotometrických sérií provedených během pozorování.

Výše uvedené o počtu výskytů předpokládá, že série byly prováděny s dostatečným časovým odstupem, tak aby bylo vždy možno jednoznačně odlišit předchozí pozici

od současné. Provedení fotometrie jednotlivé série ale nemusí vždy poskytnout jednoznačný výsledek. Přes veškerou snahu není v moci pozorovatele zajistit vždy ideální podmínky.

Pomineme-li intenzitu světelného znečištění a leteckou dopravu, je častou příčinou nedostatečně exponované série oblačnost, která v určitých momentech znemožňuje pozorování celkově. Při pozorování Makemake byla zpočátku nad observatoří téměř čistá obloha. S postupujícím časem došlo vlivem frontálních změn k částečnému a později takřka úplnému zatažení oblohy. Přibližně okolo půl čtvrté hodiny ranní nabyla již viditelnost příhodná pro další pokračování. Přes tento fakt se během pozorování podařilo získat v časovém odstupu dvě velice kvalitně exponované série.

Obě dvě série byly čítají po deseti snímcích na sérii. Doba expozice snímků činila 60 sekund. Snímky z kamery jsou ukládány do PC ve formátu fits (flexible image transport systém). Následující tabulka je hlavička pro formát fits, přičemž hodnoty v hlavičce jsou převzaty z první série pozorování. Hlavička formátu fits byla vytvořena speciálně pro účely přenosu velkého množství dat, spolu s doplňujícími informacemi. Na vytvoření se podíleli NASA a Mezinárodní astronomická unie. Data jsou tedy v souboru prezentována jednak ve vícerozměrném poli a jednak v dvojdimenzionální tabulce. Standart pro formát byl vytvořen již v roce 1970 a jeho současnou celou definici uchovává NASA a Mezinárodní astronomická unie. Množství parametrů v tomto formátu je poměrně velké. V astronomii se používají vybrané parametry vzhledem k požadavkům na naměřená data.

Parametr	Hodnota	Význam
SIMPLE	T	Je formát fits? True / False
BITPIX	16	Bitů na pixel
NAXIS	2	Počet data soustav
NAXIS1	1092	Délka naměřené data soustavy 1

Tabulka 3: Vysvětlení hlavičky formátu fits. Použité údaje vycházejí z oficiální definice standardu fits[18]

Parametr	Hodnota	Význam
NAXIS2	736	Délka naměřené data soustavy 2
BZERO	32768.00000000	Hodnota pro přepočítání dat na pixely
BSCALE	1.00000000	Viz BZERO fyzická hodnota = BZERO + BSCALE *
EXPTIME	60.00000000	Čas expozice
EXPOSURE	60.00000000 / seconds	Čas expozice v sekundách
CCD-TEMP	-25.06000000 / deg C	Teplota CCD snímače
UT	'18:44:59'	Univerzální čas pořízení snímku
DATE-OBS	'2009-03-31'	Datum pořízení snímku
TIME-OBS	'18:44:59'	Čas pozorování
DATE-BEG	'2009-03-31T18:44:59'	Zahájení snímání
DATE-END	'2009-03-31T18:45:59'	Konec snímání
TELESCOP	'Ondrejov 650/2342'	Mezinárodní označení teleskopu
INSTRUME	'G2-3200 '	Typ CCD snímače
OBSERVAT	'AsU Ondrejov'	Místo observatoře
ELEV-OBS	528.00000000 / meters above sea level	Nadmořská výška
LONG-OBS	14.78363900 / 14deg 47min 1.10sec East	Zeměpisná šířka
LAT—OBS	49.91055600 / 49deg 54min 38.00sec North	Zeměpisná délka

Tabulka 3: Vysvětlení hlavičky formátu fits. Použité údaje vycházejí z oficiální definice standardu

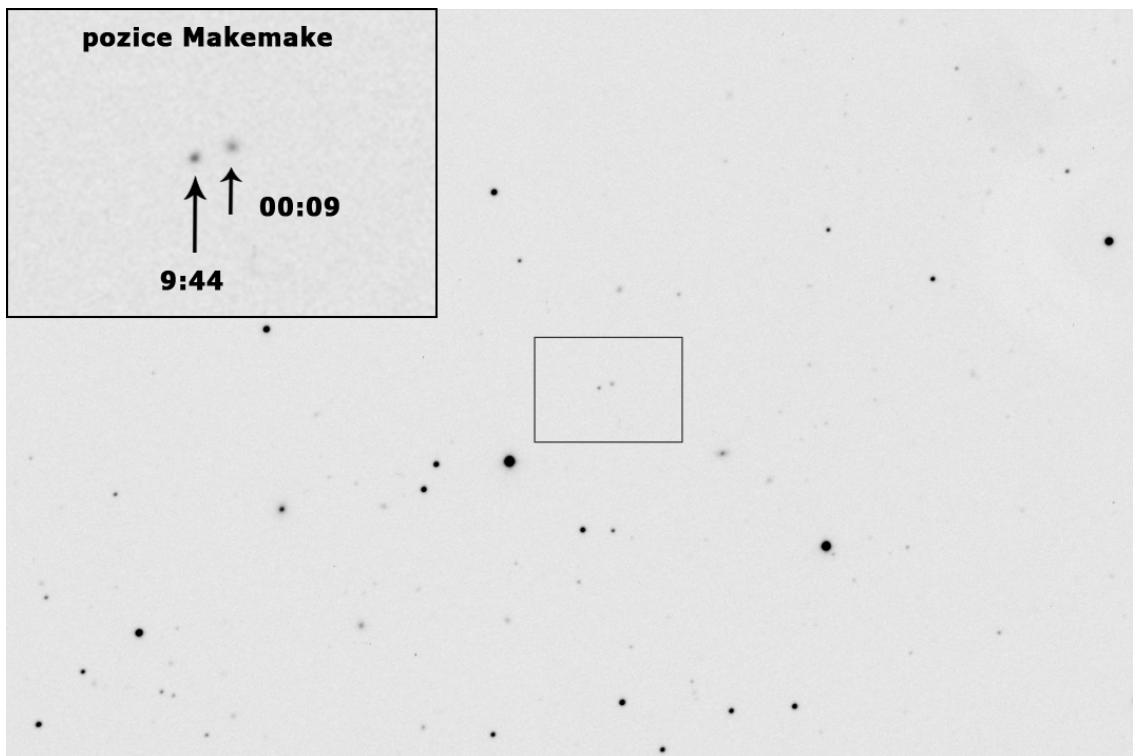
fits [18] – pokračování

Za použití softwaru od dodavatele CCD kamery k optice teleskopu (Moravské přístroje a.s.) byly sekvence poskládány. Počet snímků v sérii je stanovován tak, aby bylo možno vyloučit odchylky od průměru (jakož i případný prach nebo drobné částice, které by v době expozice přecházely přes pozorovanou oblast). Softwarové sloučení se provádí označením pozorovaného objektu na každém snímku jednotlivě, program poté dávkově zpracuje veškeré vybrané snímky s označením. Zpravidla první snímek je použit pro statické pozadí a z ostatních snímků je přepočítán objekt na označené pozici. Vznikne jeden snímek, který zobrazuje pozorovaný objekt v minimálně vzdálených lokacích (u pozorování Makemake se jedná o 2 pozice). Tento snímek je pak zpravidla uložen jako obrazový výstup ve formátu PNG při 8 bitové hloubce obrazu.

Získaný obrazový výstup byl invertován. Následující fotografie 46 je „surová“ podoba výstupu. Makemake se nachází přibližně uprostřed celého pole (dva slaběji viditelné objekty ve vzdálenosti 3 – 4 mm).



Obr. 46: Výsledný obrazový výstup z pozorování Makemake v noci z 31. března 2009 na 1. dubna 2009

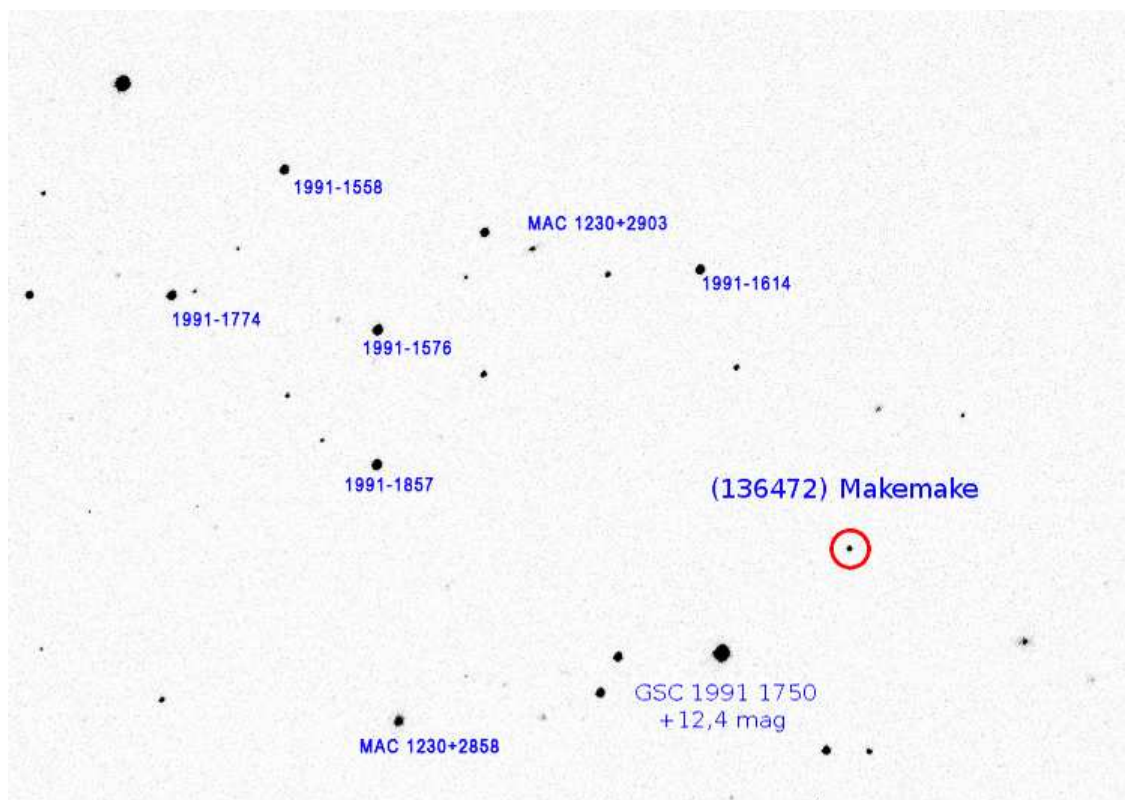


Obr. 47: Graficky zvýrazněný výstup z pozorování Makemake v noci z 31.3.2009 na 1.4.2009. Grafické zvýraznění ukazuje pozici pozorovaného objektu na v odstupu několika hodin

Z důvodu poměrně ztíženého nalezení pozorovaného objektu, bylo provedeno vytažení dané oblasti se znázorněním, tak aby byla snazší orientace. Pro úpravu byl použit CorelDraw ve verzi 12.

Počáteční fotografie měla zorné pole 19,1 x 12,8 obloukových minut. Upravená fotografie ponechala původní získané rozlišení snímku. Pouze došlo k přenastavení jasu a kontrastu. Na fotografii 38 je velmi dobře patrné, že i při časovém rozestupu, v jakém byly jednotlivé série pořízeny, je výsledná změna polohy opravdu nepatrná. Na získaných snímcích z teleskopu se pozice změnila pouze o několik obrazových pixelů. Při přepočtu tato změna čítala přibližně 8 pixelů. Snímky tak dokreslují skutečnost problematiky pozorování transneptunických těles. Vzdálenost oběžné dráhy Makemake spadá přitom do pomyslného průměru (oběžná dráha Makemake – 38 AU – 53 AU).

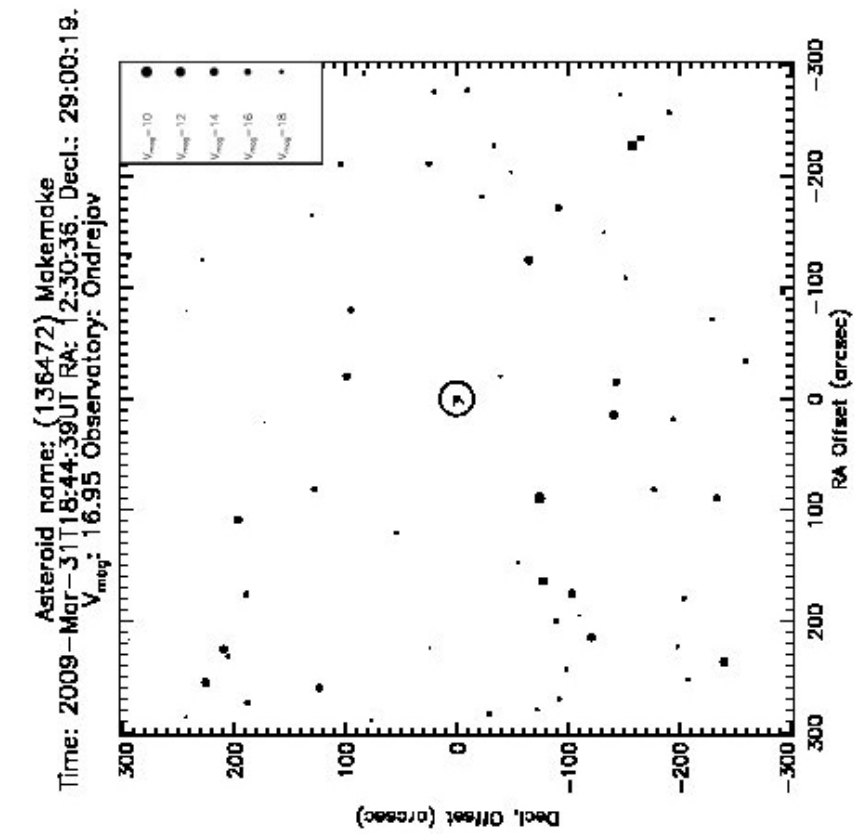
Výsledný obrazový výstup prošel jednou úpravou. Na základě konzultací s pracovníky observatoře byly pojmenovány okolní jasnější hvězdy. Jelikož je pro tyto hvězdy udáváno pouze katalogové označení, jsou popisky vedeny ve stejném smyslu. Uvedený objekt je pak možno dohledat v hvězdných mapách, případně použitím licencovaného softwaru, případně s využitím dalších zdrojů.



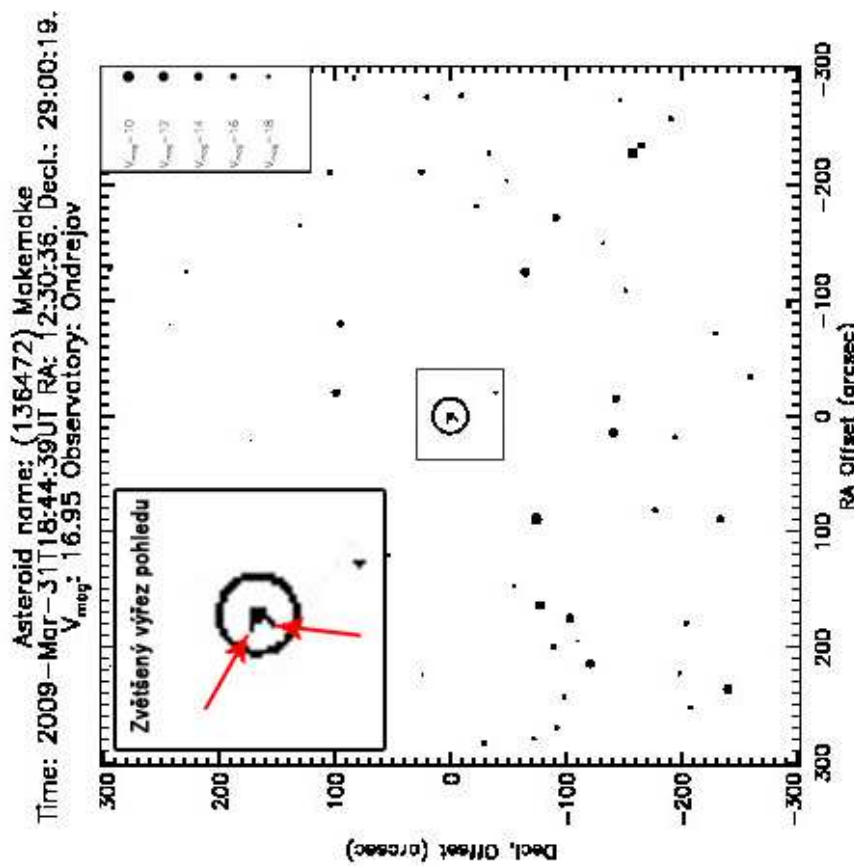
Obr. 48: Na fotografii je červeně označena pozice Makemake, nejbližší označená hvězda je GSC 1991 1750, jejíž magnituda je + 12,4 mag

Makemake je na uvedené fotografii 48 pouze z jediné série. Hlavní důraz byl kladen na pojmenování okolních hvězd v zorném poli. Katalogové označení hvězd bylo použito z licencovaného softwaru pro observatoř v Ondřejově, jedná se o Megastar4.

Na závěr pozorování byla ještě provedena rychlá srovnávací kontrola. Při použití internetového katalogu na <http://asteroid.lowell.edu/cgi-bin/astfinder> byla v seznamu vyhledána observatoř v Ondřejově – lze hledat listováním, pro rychlejší vyhledání však má každá observatoř přiřazeno unikátní číslo. V případě observatoře v Ondřejově je toto číslo 557. Dále jsou zadávány informace o velikosti zorného pole (resp. jeho šířka a výška), čas pozorování přepočten na univerzální čas a datum pozorování. V poslední kolonce je vyplněno jméno nebo katalogové číslo pozorovaného objektu. Potvrzením údajů se zobrazí nová stránka, na které je automaticky generovaná fotografie. V jejím zorném poli se nachází hledaný objekt. Pro případ pozorování Makemake je tento automaticky generovaný výstup přiložen na obrázku číslo 49. Pro srovnání je dále umístěn obrázek číslo 50, kde je Makemake zakroužkovaná, tento výstup poskytuje i další informaci a tou je vypočítaný směr pohybu Makemake v zorném poli.



Obr. 49: Výsledný automaticky generovaný pohled na Makemake



Obr. 50: Zvětšený výřez pozice Makemake, červené šipky ukazují na místo, ze kterého se čerpá další informace

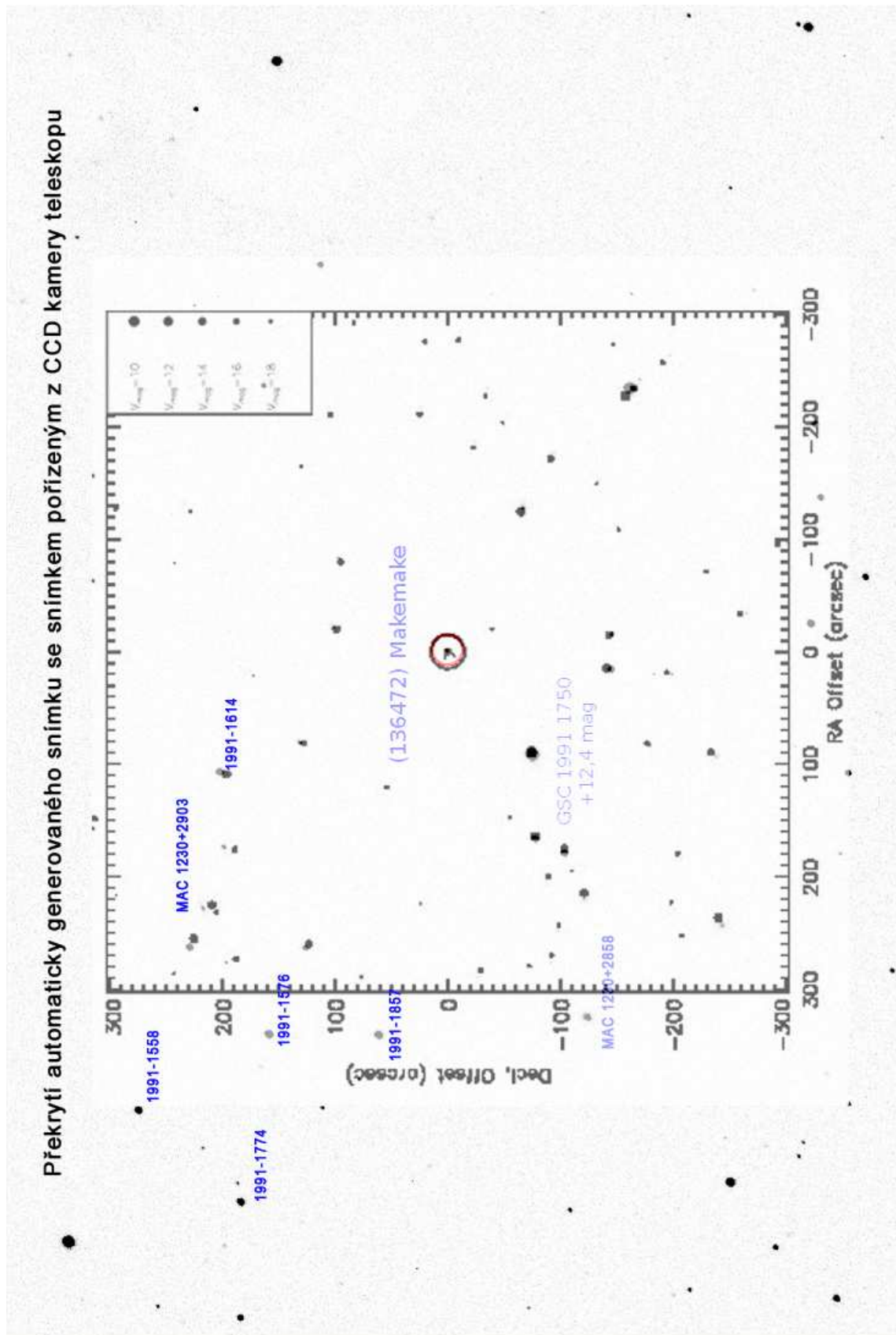
Výsledný obrazový výstup automaticky generovaných obrázků je možno získat pouze v základním rozlišení 72 dpi. Šířka automaticky generovaného obrázku je sice 684 pixelů, ale započítávají se do ní i bílé okraje kolem dokola. Jelikož byly tyto okraje nepotřebné byl proveden jejich ořez v CorelDraw ve verzi 12 a fotografie byla následně uložena. Zůstává tak v „surové“ podobě a informace o pozorovaném objektu neprošly žádnou úpravou. Pro lepší viditelnost těchto informací byla provedena další úprava a bylo vyznačeno, kde se nachází informace vhodné pro kontrolu. Veškeré úpravy byly opět provedeny v programu CorelDraw ve verzi 12.

Na obrázku číslo 50 je tedy již automaticky generovaný výstup zpracován. Úpravy byly provedeny s cílem zvýraznění poskytnutých informací. Vyznačená oblast byla zvětšena a její výřez byl posunut do levého horního rohu. Tím zůstává zachována jednak původní informace a jednak je tato informace zvýrazněna a zvětšena.

Červené šipky na obrázku 50 ukazují na dvě krátké úsečky, jež počínají na pozici Makemake a pokračují jakožto pomyslný chvost komety. Objekt se bude pohybovat ve směru, v kterém by se tyto dvě úsečky protnuly.

Pro konečnou kontrolu bylo provedeno překrytí takto automaticky generované fotografie se snímkem získaným z CCD kamery teleskopu v Ondřejově.

Překryv byl proveden pomocí grafického editoru GIMP ver. 2.0 a to tak, že automaticky generovaný výstup byl přeložen přes výsledný výstup z pozorování a postupnou změnou průhlednosti v alpha kanálu automaticky generovaného výstupu došlo k obrazovému výstupu, na kterém je možno oba snímky porovnat „přeložením přes sebe“. Průhlednost automaticky generovaného obrázku byla nastavena na 63 % oproti normálu a krytí jednotlivých pixelů bylo sníženo na 78 %. Nastavení průhlednosti a krytí bylo provedeno intuitivně tak, aby výsledek byl čitelný pro oba překryté obrázky. Vlastní pozicování obrázků bylo provedeno při snížené průhlednosti a pohledovou kontrolou. Drobné odchylky od vyznačených pozic jsou způsobeny nesourodými rozlišeními obou snímků. Dalším rozdílným faktorem je jednak různá bitová hloubka automaticky generovaného výstupu a snímku s pojmenovaným okolím Makemake. Pro automaticky generovaný výstup byla bitová hloubka 8 bitů při rozlišení 72 dpi, zatímco pro snímek s pojmenovaným okolím Makemake byla bitová hloubka 24 bitů při rozlišení 96 dpi. Kontrola pomocí přeložených snímků na obrázku 42 potvrdila informace získané z pozorování a zároveň i ukázala, že pohyb Makemake vyznačený na obrázku číslo 36 je v souladu s výpočtem. Lze tak učinit závěr, že pozorování skutečně zobrazilo pozici a pohyb transneptunického tělesa (136472) Makemake.



Obr. 51: Překrytí dvou snímků za účelem kontroly, u snímku automaticky generovaného bylo sníženo krytí a výplň a snímek je přeložen přes výstup z kamery observatoře v Ondřejově

4. Závěr

Předložená práce si vzala za cíl provést rešerši o možnostech pozorování transneptunických těles a zároveň již o dosud získaných informací v oblasti jejich výzkumu. Hlavní pozornost byla věnována zmapování již získaných informací o nejdůležitějších objektech v souboru transneptunických těles. Práce se postupně zaměřuje na jednotlivé důležité představitele a dále věnuje pozornost zvláštnostem a neobvyklostem některých dalších objektů. V druhé části se práce věnuje získání vlastních poznatků a provedení vlastních měření za účelem hlubšího pochopení předkládané problematiky a zároveň porozumění náročnosti na zařízení a obsluhu, která je kladena, při takovémto pozorování. Vlastní pozorování úspěšně ukázalo vybraný objekt pozorovatelný z našich zeměpisných souřadnic. Získaný výstup je postupně studován a zpracováván tak, aby bylo možno předat veškeré informace získané během a po provedeném pozorování. V závěru druhé části je krátce věnována pozornost srovnání získaného pozorování s údaji uloženými v celosvětové databázi asteroidů. Je provedena grafická studie tohoto srovnání a výsledek je obrazově prezentován.

Práce přináší v oblasti výzkumu transneptunických těles setřídění informací a jejich rozčlenění tak, že jejím přečtením by měl čtenář získat základní představu a informace o problematice výzkumu v této oblasti.

5. Seznam obrázků

- Obr. 1: Schéma naší Galaxie
- Obr. 2: Pohled do středu Mléčné dráhy
- Obr. 3: Slunce v oboru ultrafialového spektra
- Obr. 4: Oběžná dráha 2003 UB313 pozorovaná Mikem Brownem
- Obr. 5: Tělesa sluneční soustavy v porovnání se Sluncem
- Obr. 6: Fotografie asteroidu Ceres z Hubbleova teleskopu
- Obr. 7: Asteroid Eros
- Obr. 8: Sonda NEAR Shoemaker
- Obr. 8: Schématické znázornění vnitřní oblasti sluneční soustavy
- Obr. 9: Dráhové trajektorie blízkozemních planetek
- Obr. 10: Schématické znázornění vnitřní oblasti sluneční soustavy
- Obr. 11: Dráhová trajektorie tělesa (2060) Chiron
- Obr. 12: Halleyova kometa
- Obr. 13: Schéma pozice Oortova oblaku komet vzhledem k planetární soustavě
- Obr. 14: Rozptyl světla na kosmickém prachu
- Obr. 15: Oběžné dráhy těles za drahou Neptunu (tělesa Kuiperova pásu)
- Obr. 16: Schématické znázornění vnější oblasti sluneční soustavy
- Obr. 17: Gerard Kuiper
- Obr. 18: Porovnání velikostí Země, Měsíce, Pluta a tělesa 2004 DW
- Obr. 19: Umělecké ztvárnění kentaura (8405) Absolus
- Obr. 20: Pozice 2002 CR46 – (42355) Typhon
- Obr. 21: Eris a její měsíc Dysnomia
- Obr. 22: Kopule observatoře na Mount Palomar
- Obr. 23: Objev trpasličí planety Eris
- Obr. 24: Porovnání množství odraženého záření od Eris
- Obr. 25: Rozlišení různých skupin těles ve sluneční soustavě
- Obr. 26: Objev Pluta na původních snímcích z roku 1930
- Obr. 27: Clyde Tombaugh
- Obr. 28: Umělecké ztvárnění Pluta
- Obr. 29: Fotografie Pluto, Charón, Nix a Hydra z 18. května 2005
- Obr. 30: James Christy – objevitel Charóna

- Obr. 31: Umělecké ztvárnění soustavy Pluto – Charón
- Obr. 32: Sonda New Horizons ve vesmíru a její start
- Obr. 33: Zaznamenání pozice satelitů tělesa 2003 EL61
- Obr. 34: Porovnání doposud známých velkých transneptunických
- Obr. 35: Seřazení vybraných transneptunických těles
- Obr. 36: Rozložená sekvence kmitání Haumeae
- Obr. 37: Pohled na sluneční soustavu
- Obr. 38: Zobrazení dráhového orbitu 2008 KV42
- Obr. 39: Zobrazení dráhy Orcu, Pluta a Neptunu
- Obr. 40: Zobrazení oběžné dráhy Orcu
- Obr. 41: Rozložená sekvence pohybu Quoaru
- Obr. 42: Oběžná dráha Quoaru okolo Slunce
- Obr. 43: Makemake zaznamenaná Hubbleovým teleskopem
- Obr. 44: Kopule 65-cm dalekohledu pro pozorování planetek v Ondřejově
- Obr. 45: CCD kamera teleskopu
- Obr. 46: Výsledný obrazový výstup z pozorování Makemake
- Obr. 47: Graficky zvýrazněný výstup z pozorování Makemake
- Obr. 48: Na fotografii je červeně označena pozice Makemake
- Obr. 49: Výsledný automaticky generovaný pohled na Makemake
- Obr. 50: Zvětšený výřez pozice Makemake
- Obr. 51: Překrytí dvou snímků za účelem kontroly

6. Seznam grafů

Obr. 15: Oběžné dráhy těles za drahou Neptunu (tělesa Kuiperova pásu)

Obr. 24: Porovnání množství odraženého záření

Obr. 25: Rozlišení různých skupin těles ve sluneční soustavě

Obr. 33: Zaznamenání pozice satelitů tělesa 2003 EL61

Obr. 40: Zobrazení oběžné dráhy Orcu

Obr. 42: Oběžná dráha Quoaru okolo Slunce

7. Seznam tabulek

Tabulka 1: Vybrané vlastnosti Slunce

Tabulka 2: Parametry dráhy tělesa (15760) 1992 QB1

Tabulka 3: Vysvětlení hlavičky formátu fits

8. Použitá literatura

- [1] Bertotti, B., Farinella, P., Vokrouhlický, D.: Physics of the Solar System, Kluwer, 2004
- [2] Kleczek J.: Velká encyklopedie vesmíru, Academia, 2002
- [3] Cruikshank, D. P, Space Science Review 116, 421, 2005
- [4] Vinanen J., Tancredi G., Muinonen K., Bowel, E.: Orbit computation for transneptunian objects, Icarus, 419, 2003
- [5] Discovery of 1992 QB1: <http://cfa-www.harvard.edu/iau/iauc/05600/05611.html>
- [6] www.vesmir.cz
- [7] www.planetky.cz
- [8] www.ian.cz
- [9] <http://www.planetky.cz/article.php3?sid=185>
- [10] <http://www.planetky.cz/article.php3?sid=16>
- [11] <http://www.planetky.cz/article.php3?sid=25>
- [12] <http://web.gps.caltech.edu/~mbrown>
- [13] <http://web.gps.caltech.edu/~mbrown/papers/ps/gab.pdf>
- [14] <http://www.gps.caltech.edu/~mbrown/2003EL61/>
- [15] <http://www.chadtrujillo.com/2004dw/>
- [16] <http://www.chadtrujillo.com/quaoar/>
- [17] <http://www.windows.ucar.edu>
- [18] http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/fcg/standard_dict.html