

MASARYKOVA UNIVERZITA  
Přírodovědecká fakulta  
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Výpočet dráhových elementů planetek  
a výpočet efemerid

Bc. Michaela Honková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jana Tichá

2008

Zde bych ráda poděkovala vedoucí práce Ing. Janě Tiché z Observatoře Klet za pomocnou ruku při závěrečných korekturách práce a panu Miloši Tichému z téže observatoře za neocenitelné rady, vstřícný přístup i četné konzultace, které umožnily napsat tuto práci tak, jak ji nyní předkládám.

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

V Brně dne

Bc. Michaela Honková

Abstrakt:

Tato práce se zabývá výpočtem dráhových elementů planetek a výpočtem efemeridy – tedy pozice tělesa na obloze v předem stanovený okamžik. Zmiňuje vývoj porozumění pojmu planetka. Dále začíná předběžným určením dráhy, provedeným metodou Väisäla, a popisuje a aplikuje Gaussovu metodu pro určení definitivní dráhy. Poukazuje na problémy provázející Gaussovu metodu, zejména její citlivost vůči nepřesnostem určení dráhy Země, vstupující do výpočtu. Navrhuje možné další kroky pro zpřesnění dráhy. Pozorování provedená v rámci této práce byla odeslána Minor Planet Center a přispěla k zpřesnění drah pozorovaných těles.

Klíčová slova: planetka, dráha, efemerida

Abstract:

This work deals with computation of orbital parameters of minor planets and computation of ephemerides - the position of the body on sky in given time. Also, development of understanding of a term 'minor planet' is mentioned. Then the work begins with preliminary orbit determination carried out by method of Väisäla and describes and applies Gauss method to determine final orbital parameters. It points out weak points of method of Gauss, especially its great sensitivity to accuracy of Earths orbit parameters entering the calculations. The work suggests possible further steps to enhance the methods performance. The observations of minor planets carried out within this work were sent to Minor Planet Center and helped to refine the orbit parameters of the observed bodies.

Keywords: asteroid, minor planet, orbit, ephemeris

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Vývoj pojmu planetka</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Užité metody</b>	<b>12</b>
3.1	Časy a souřadnice . . . . .	12
3.2	Korekce . . . . .	13
3.2.1	Planetární aberace . . . . .	13
3.2.2	Paralaxa . . . . .	14
3.2.3	Precese a Nutace . . . . .	14
3.3	Výpočet efemerid . . . . .	15
3.4	Metoda Väisäla . . . . .	20
3.5	Gaussova metoda výpočtu dráhy ze tří pozorování . . . . .	21
3.5.1	Výpočet pomocných veličin . . . . .	22
3.5.2	Aproximace . . . . .	23
3.5.3	Zlepšení aproximace . . . . .	25
3.5.4	Určení elementů dráhy . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Vlastní realizace</b>	<b>33</b>
4.1	Výpočtový program . . . . .	33
4.2	Dostupná vstupní data . . . . .	33
4.3	Výpočet dráhy vybraných těles . . . . .	35
4.3.1	Vzorové těleso . . . . .	35
4.3.2	Planetka 2008 CN1 . . . . .	36
4.3.3	Planetka 2008 CK70 . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Shrnutí</b>	<b>42</b>
	<b>Literatura</b>	<b>44</b>



# Kapitola 1

## Úvod

Tato práce se zabývá výpočtem dráhových elementů planetek a výpočtem efemerid. Ve svém úkolu tak navazuje na bakalářskou práci [3], jejímž úkolem bylo získat metodu vhodnou k určení předběžné dráhy, umožňující sledovat těleso dostatečně dlouho pro použití důkladnější metody výpočtu dráhy, kterou se zabývám v této práci. Samotná práce je rozdělena do tří hlavních celků.

Jelikož se v této práci zabývám planetkami, první kapitola objasňuje, co se v průběhu času pod pojmem planetka rozumělo, a zahrnuje náhled od dob objevu Ceres až po velká transneptunická tělesa jako je Eris.

Druhá kapitola je věnována teoretickým znalostem, na nichž je práce vystavěna, a objasňuje použité postupy. Začíná letmou zmínkou často používaných časů a souřadnic a pokračuje přes různé typy korekcí - objasňuje, které z nich a proč je třeba do této práce zahrnout. Popisuje použitý způsob výpočtu efemerid, zmiňuje metodu Väisäla a věnuje se zevrubnému matematickému postupu Gaussovy metody, a to dostatečně podrobně, aby ji bylo možno následováním očíslovaných vzorců použít k vlastním výpočtům.

V třetí části je zmiňován program, vytvořený pro účely této práce, a provedená pozorování malých těles sluneční soustavy. Program je otestován na vzorovém tělese a následně použit pro výpočet drah dvou z pozorovaných těles. Výsledné dráhy jsou srovnány s drahami spočtenými JPL [7].

Vzhledem k rozsahu této práce nebylo možno se zabývat poruchovými dramami, v závěru je však kromě shrnutí základních poznatků práce nastíněn také další postup, kterým je možné se ubírat.

## Kapitola 2

### Vývoj pojmu planetka

Od dávných dob lidé rozlišovali na obloze hvězdy, a pohybující se Měsíc, Slunce a planety. Komety byly pod vlivem aristotelovského učení v Evropě považovány za atmosférický jev, a jako takovým jim nebyla věnována patřičná pozornost. Prvním, kdo tyto názory zpochybnil, byl Tycho Brahe, kterému se nepodařilo změřit paralaxu komety v roce 1577. Proto konstatoval, že kometa musí být alespoň dvěstěkrát dále, než Měsíc, a nemůže tedy jít o atmosférický úkaz. O téměř dvě století později Edmund Halley rozlišil tři zaznamenané komety jako různé návraty stejného tělesa a předpověděl její další návrat na rok 1758, kterého se bohužel nedožil.

O jedno desetiletí později, v roce 1766, přišel Titius s myšlenkou matematické řady pro vyjádření vzdáleností planet od Slunce, známé jako Titius-Bodeova řada. Následný Herschelův objev Uranu se zdál platnost této řady potvrzovat, a tak na jejím základě astronomové usoudili, že mezi Marsem a Jupiterem se nachází další, dosud neobjevená planeta, kterou tato řada předpovídá. Za účelem nalezení nové planety zorganizovali v roce 1800 první astronomický mezinárodní projekt. Planeta byla objevena italským astronomem Giuseppem Piazzim v lednu roku 1801, a sám Piazzini její velikost odhadoval na srovnatelnou s velikostí Země. Asi měsíc po objevu byla planeta ztracena. Její nalezení umožnil až geniální matematik Gauss, který vytvořil vhodnou metodu k výpočtu drah planetek a předpověděl polohu Ceres pro leden následujícího roku. Planetka byla na předpokládaném místě skutečně nalezena, a Gaussova metoda se s drobnými obměnami úspěšně používá dodnes.



Během dalších padesáti let vzrostl počet objevených planet o 16, včetně objevu planety Neptun výpočtem založeným na jeho gravitačním působení na Uran. Do roku 1855 byly planety mezi Marsem a Jupiterem považovány za velikostí srovnatelné s ostatními terestrickými planetami sluneční soustavy, a byly jim také přidělovány příslušné grafické symboly. Jejich počet však narůstal a s pokrokem v technice bylo možné získat lepší odhad jejich rozměrů - zmenšily se na velikost nedůstojnou i pro tehdy známé měsíce, a proto byla tato tělesa přerazena - začala být označována jako asteroidy<sup>1</sup> (hvězdám podobné) či planetky<sup>2</sup>. O půl století a víc jak čtyři stovky objevených plane-

Planet.	New Symbol.	Old Symbol.
<i>Ceres</i> ,	①	♁
<i>Pallas</i> ,	②	♁
<i>Juno</i> ,	③	♁
<i>Vesta</i> ,	④	♁
<i>Astræa</i> ,	⑤	♁
<i>Hebe</i> ,	⑥	♁
<i>Iris</i> ,	⑦	♁
<i>Flora</i> ,	⑧	♁
<i>Metis</i> ,	⑨	♁
<i>Hygea</i> ,	⑩	♁
<i>Parthenope</i> ,	⑪	♁
<i>Clio</i> ,	⑫	♁
<i>Egeria</i> ,	⑬	♁
<i>Irene</i> ,	⑭	♁
<i>Eunomia</i> ,	⑮	♁

Obrázek 2.1: Symboly 'planet' mezi Marsem a Jupiterem

tek později astronomové začali spekulovat o možném nalezení další planety, nacházející se za Neptunem, právě z gravitačního působení 'Planety X' na Uran - vliv Neptunu totiž nebyl schopen zcela vysvětlit pozorovanou dráhu Uranu<sup>3</sup>.

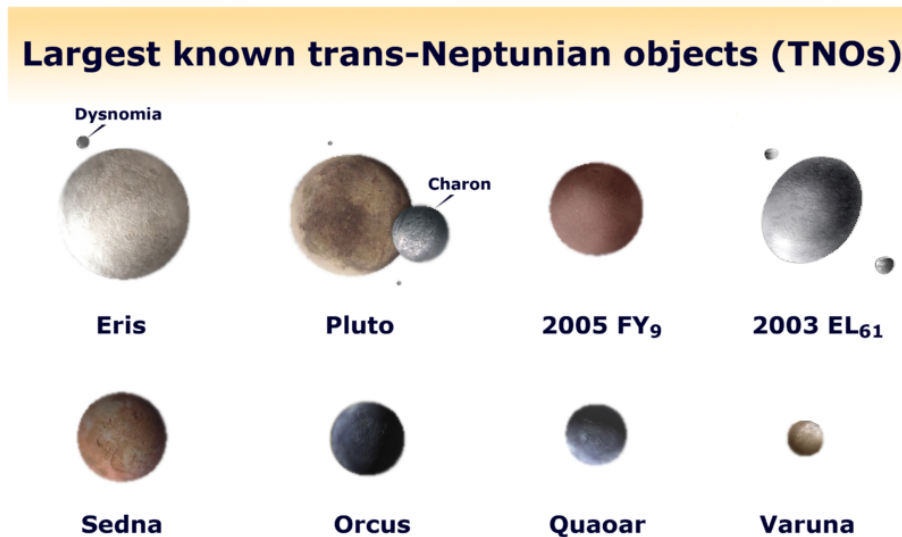
<sup>1</sup>Název asteroidy byl poprvé použit Herschelem již v roce 1802, v astronomické komunitě se však zpočátku neuchytil.

<sup>2</sup>Název poprvé použit roku 1841 v britském 'The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris' pro rok 1845.

<sup>3</sup>Tomu bylo tak proto, že hmotnost Neptunu nebyla známa dostatečně přesně. Opravy se dočkala až v roce 1989, kdy pomocí pozorování dráhy kosmické sondy Voyager 2 byla stanovena přesnější hodnota.

Planetu se však nepodařilo nalézt až do roku 1930, kdy v únoru americký astronom Clyde W. Tombaugh objevil Pluto.

Během následujících let byla opakovaně odhadovaná hmotnost Pluta zmenšována. Roku 1992 bylo po několikaletém hledání Davidem Jewittem a Jane Luu objeveno další těleso za drahou Neptunu - planetka (15760) 1992 QB1. Situace, do které se o jeden a půl století dříve dostala planetka Ceres se opakovala, astronomové začali nabývat přesvědčení, že Pluto by se mělo přesunout do kategorie planetek - přesto však zůstávalo dále planetou. Další objevy vzdálených planetek však následovaly a v roce 2003 byla za Neptunem objevena planetka Eris, těleso větší než samotné Pluto. Situace Pluta byla nadále neudržitelná a v srpnu roku 2006 se v Praze konal kongres Mezinárodní Astronomické Unie, který měl rozhodnout o jeho dalším osudu. Výnosem kongresu IAU 2006 je nově definován pojem planetka i planeta, je



Obrázek 2.2: Největší známá tělesa za drahou Neptunu

zavedena nová kategorie trpasličí planeta. Podle této nové definice je planeta těleso, které obíhá kolem Slunce a není satelitem, je dostatečně hmotné na zaujmutí hydrostatické rovnováhy a také je ve svém okolí gravitačně dominantní - svojí gravitací vyčistilo okolí své dráhy. Pokud je těleso dostatečně hmotné na zaujetí hydrostatické rovnováhy, ale nikoliv již gravitačně do-

minantní ve svém okolí, nazýváme jej trpasličí planeta, a pokud nemá ani hmotnost potřebnou pro zaujetí hydrostatické rovnováhy, tak planetka. Tuto novou definici splňuje osm planet sluneční soustavy. Ceres, Eris a Pluto byly zařazeny jako trpasličí planety, a o umístění dalších těles do této kategorie se jedná.

# Kapitola 3

## Užití metody

### 3.1 Časy a souřadnice

Světový čas.

Je časem často užívaným v astronomii, a odpovídá času na nultém (Greenwichském) poledníku. Běžně se značí jako GMT (Greenwich Mean Time) nebo UT (Universal Time). V zimním období je tento čas jednu hodinu pozadu oproti SEČ (středoevropskému času), v letním období pak o dvě hodiny pozadu (oproti SELČ, středoevropskému letnímu času).

Juliánské datum.

Pohyb Země je do značné míry nepravidelný, a proto bylo zavedeno juliánské datum (JD), jako pravidelně plynoucí čas od jistého v minulosti dostatečně vzdáleného časového okamžiku (z definice poledne UT 1.1. 4713 př. n. l.). Dny juliánského data mají přesně 86400 sekund. Kromě toho bylo zavedeno také Modifikované juliánské datum (MJD), bez prvních dvou číslic juliánského data a posunuté na půlnoc:  $MJD = JD - 2400000.5$  UT.

Epocha.

Čas udávaný u parametrů dráhy. Jde o čas, pro který má těleso zapsané parametry dráhy, včetně střední anomálie  $M$ . Střední anomálie totiž určuje polohu tělesa na dráze v době zapsané epochy. Epocha bývá uváděna ve světlovém čase UT nebo v juliánském datu.

Ekvinokcium.

Je čas, pro jehož polohu jarního bodu platí některé typy souřadnic. Parametry dráhy tělesa i rovníkové souřadnice II. druhu (rektascenze a deklinace) jsou vztahovány k poloze jarního bodu, a jelikož se poloha jarního bodu mění (viz precese a nutace), je nutné uvést čas, pro který uvedené souřadnice platí. Tímto časem je právě ekvinokcium.

Heliocentrické pravoúhlé ekliptikální souřadnice.

Středem souřadnic tohoto systému je střed Slunce a hlavním směrem směr k jarnímu bodu. Tři souřadné osy  $x, y, z$  jsou na sebe vzájemně kolmé a výsledné hodnoty  $X, Y, Z$  jsou uváděny v astronomických jednotkách (AU).

Sférické rovníkové souřadnice II. druhu.

Nejznámější z astronomických souřadnic. V krátkém časovém horizontu v řádu měsíců mají hvězdy pozice v těchto souřadnicích neměnné, což byl hlavní důvod k jejich zavedení. Hlavním směrem je směr k jarnímu bodu, v řádu let či déle se tedy bude projevovat efekt nepravidelnosti zemské rotace v pohybu jarního bodu, tedy i celého souřadného systému. Délkovou souřadnicí je rektascenze (R.A.,  $\alpha$ ), počítána obvykle v hodinové míře od jarního bodu v matematicky záporném směru, čili směrem východním. Rektascenze nabývá hodnot 0 až 24 hodin. Šířkovou souřadnicí je deklinace (Decl.,  $\delta$ ), počítána ve stupních. Deklinace může nabývat hodnot v rozmezí +90 až -90 stupňů.

## 3.2 Korekce

### 3.2.1 Planetární aberace

Planetární aberace je zapříčiněna konečnou rychlostí světla a pohybem planetky - v době, kdy světlo od planetky cestuje k pozorovateli, se planetka mezitím posunula na své dráze dále. Pro započtení planetární aberace potřebujeme znát vzdálenost od pozorovatele k planetce  $\rho$  v astronomických jednotkách (AU) v době pozorování  $t$ . Pak čas, ve kterém světlo planetku opustilo, je

$$t^\circ = t - A\rho, \tag{3.1}$$

kde  $A = 0.005772$  dne je čas, po který světlo letí 1 AU.

Planetární aberace je v této práci v průběhu určování parametrů dráhy započítávána. Kromě planetární aberace existují i jiné typy aberací, největší efekt z nich má roční (hvězdná) aberace. Jelikož je však pozice tělesa na obloze určována vzhledem k pozici okolních hvězd, na které hvězdná aberace také působí, není třeba ji započítávat. Ostatní typy aberací nemají v našem případě rozeznatelný efekt a budou proto zanedbány.

### 3.2.2 Paralaxa

Paralaxa je efekt způsobený promítáním polohy blízkého tělesa na pozadí vzdálených hvězd, kdy pozorovatel v různých polohách změří jiné souřadnice blízkého tělesa. Pozorování planetek jsou většinou prováděna ze zemského povrchu - jsou tedy topocentrická, ale výpočty drah i efemerid se obvykle provádějí pro střed Země - tedy geocentricky. Oprava o efekt paralaxy daný posunem pozorovatele ze středu Země do místa pozorování je obvykle ponechán samostatnému řešení.

Do výpočtu parametrů dráhy vstupuje pozice Země, kterou je možno zredukovat na pozici pozorovatele. Pozici Země je možno určit z parametrů dráhy Země. Ve většině dostupných katalogů ale pod parametry dráhy Země nenajdeme skutečně parametry dráhy Země, místo toho uvádí pro jednoduchost parametry barycentra Země-Měsíc. Jelikož aplikovat posun ze středu Země k pozorovateli na střed soustavy Země-Měsíc postrádá smysl, rozhodla jsem se v této práci paralaktickou korekci zanedbat. Takovéto zjednodušení je možno aplikovat pro většinu pozorovaných planetek. Pro blízkozemní tělesa, nacházející se v čase pozorování poblíž Země, však způsobuje nepřijatelně velké chyby.

### 3.2.3 Precese a Nutace

Precese.

Zemská osa provádí tzv. precesní pohyb, kdy opisuje s periodou asi 26 000 let pomyslný kužel. Každý siderický rok, tedy když bude Země znovu ve stejné poloze vůči hvězdám, proto bude zemská osa natočená trochu jiným směrem, právě v důsledku precesního pohybu. Zvolme si za sledovaný okamžik jarní rovnodennost - dobu, při které se Slunce nachází nad světovým rovníkem, a posunuje se k severní polokouli. Jelikož každý siderický rok bude zemská osa natočená trochu jinak, Slunce se bude na pozemské obloze

nacházet trochu jinde. A protože poloha Slunce na obloze v čase jarní rovnodennosti určuje jarní bod, bude se posouvat také jarní bod. K jarnímu bodu ale vztahujeme parametry dráhy tělesa, určující orientaci dráhy na obloze (argument šířky perihélia  $\omega$ , délku výstupného uzlu  $\Omega$ , sklon dráhy  $i$ ), takže tyto parametry dráhy se také budou díky precesi měnit. Proto je nutné uvádět u parametrů dráhy Ekvinokcium, tedy čas, pro jehož polohu jarního bodu uvedené parametry dráhy tělesa platí. Ekvinokcium je také uváděno u nejpoužívanějšího souřadného systému v astronomii - sférických rovníkových souřadnic II. druhu ( $\alpha$ ,  $\delta$ ), jelikož jejich počátek je souhlasný s jarním bodem.

Nutace.

Zemská osa neopisuje přesný kužel, ale je periodicky vychylována slapovými jevy. Toto vychylování se označuje nutace a s precesním pohybem se počítá.

Pozorování pro tuto diplomovou práci byla prováděna pouze po několik měsíců, proto efekt precese a nutace není podstatný a nebyl brán v úvahu.

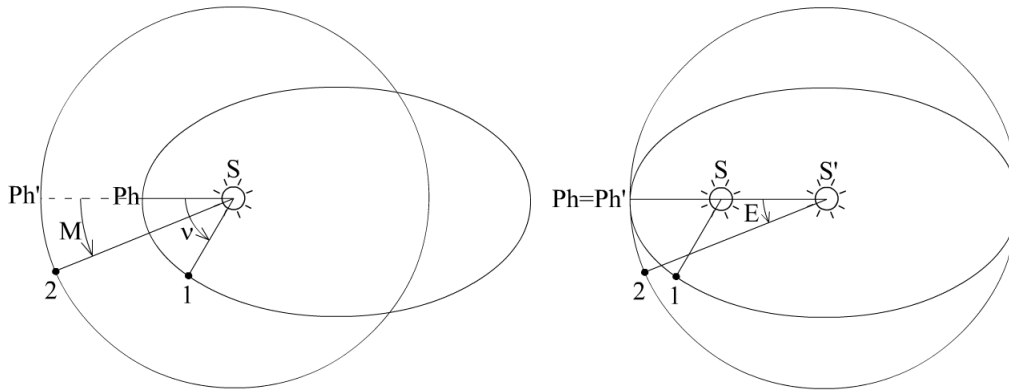
### 3.3 Výpočet efemerid

Efemeridou se rozumí výpis poloh tělesa na obloze v zadaných časových okamžicích. Pro tělesa sluneční soustavy je výpočet efemerid neoddelitelnou součástí přípravy pro pozorování tělesa, bez níž bychom nevěděli, kde na obloze dané těleso hledat.

Základem pro získání efemeridy je znalost parametrů dráhy tělesa (pro epochu  $JD$  parametry  $a$ ,  $M_0$ ,  $e$ ,  $\omega$ ,  $i$ ,  $\Omega$  a  $n$ ) a času  $t$ , pro který polohu ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) určujeme. Jelikož parametry dráhy Země známe, získáme snadno polohu tělesa na pozemské obloze. Při výpočtu používáme velkou poloosu  $a$ , je tedy zřejmé, že musí jít o uzavřené dráhy ( $e < 1$ ). Efemeridu pro parabolickou ( $e = 1$ ) a hyperbolickou ( $e > 1$ ) dráhu tímto způsobem nejsme schopni určit. Planetky mají dráhy obecně eliptické, pro účely této práce tedy tato metoda výpočtu efemerid postačuje.

Při výpočtu je nutné dbát na správný formát vkládaných úhlů - ideálně používáme radiány, pouze výsledky převedeme na stupně. Vyhneme se tak omylům, které vznikají, když se pokoušíme sečítat číselné hodnoty se stupni místo radiány a podobně. Časy jsou uváděny v juliánském datu. Jelikož po-

stup tohoto výpočtu je téměř notoricky známý, vzorce nebudou odvozovány, ačkoliv jejich vysvětlení chybět nebude. Předpokládejme eliptickou dráhu



(a) Kruhová a střední anomálie

(b) Excentrická anomálie

tělesa s oběžnou dobou  $P$ , v jejímž jednom ohnisku je Slunce  $S$ . Bod, kdy je těleso nejbližší ke Slunci pojmenováváme perihélium  $ph$ . Jelikož je dráha eliptická, těleso se pohybuje podle druhého Keplerova zákona nestejně velkou rychlostí. Pojmenujme úhel mezi průvodičem tělesa a perihéliem pravá anomálie  $\nu$ .

Představme si kruhovou dráhu o stejné době oběhu  $P$ . Těleso se po ní bude pohybovat konstantní velikostí rychlosti. Z toho plyne, že za jeden den urazí úhel  $n = 360^\circ/T$ , střední denní pohyb. Těleso nemá perihélium, je stále stejně daleko od Slunce - prodlužme si tedy spojnicí Slunce a perihélia  $ph$  a průsečík s kruhovou drahou označme  $ph'$ . Za stejnou dobu  $t$ , za kterou opíše první těleso úhel  $\nu$ , urazí toto těleso úhel  $M$  zvaný střední anomálie.

Posuňme nyní kružnici tak, aby body  $ph$  a  $ph'$  splynuly. Tímto bodem obě tělesa prochází v čase  $T$ , v čase průchodu perihéliem. Protože jsme kruhovou dráhu posunuli, posunul se i bod  $S'$ , kolem kterého těleso 2 obíhá a není již dále totožný se Sluncem. Úhel mezi směrem z  $S'$  k perihéliu a tělesem 2, obíhající konstantní rychlostí po dráze s dobou oběhu  $P'$ , nazýváme excentrickou anomálií  $E$ .



Vzájemný vztah mezi těmito veličinami řeší Keplerova rovnice 3.3. Nejprve spočteme střední anomálii  $M_t$ , kde  $t_0$  je epocha, pro kterou máme vstupní elementy dráhy - určuje tedy, kdy těleso mělo v elementech dráhy uvedenou střední anomálii  $M_0$ . Čas  $t$  je okamžik, pro který nás poloha tělesa na obloze zajímá.

$$M_t = M_0 + n(t - t_0) \quad (3.2)$$

Keplerova rovnice nemá sama o sobě analytické řešení, je nutné ji řešit numericky pomocí iteračního postupu. V prvním přiblížení předpokládejme kruhovou dráhu, takže  $M = E$ . Spočteme nové  $E$ , znovu jej dosadíme a získáme zase přesnější  $E$ . Obvykle po 2-3 iteracích je přesnost  $E$  dostatečná, tedy  $E_{n+1} - E_n < \varepsilon$ .

$$E = M + e \sin E \quad (3.3)$$

Pravá anomálie je pak

$$\nu = 2 \arctan \left[ \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan \frac{E}{2} \right]. \quad (3.4)$$

Navíc můžeme snadno spočíst délku průvodiče, která udává vzdálenost tělesa od Slunce (či přesněji od gravitačního středu soustavy).

$$r = a(1 - e \cos E) [AU]$$

Dále spočteme heliocentrické pravoúhlé ekliptikální souřadnice tělesa ( $X_T, Y_T, Z_T$ ) a Země ( $X_Z, Y_Z, Z_Z$ ), které jsou v astronomických jednotkách. Jejich rozdílem pak získáme souřadnice tělesa vůči Zemi, které převedeme na sférické rovníkové souřadnice II. druhu - rektascenzi  $\alpha$  a deklinaci  $\delta$ .

Heliocentrické pravoúhlé ekliptikální souřadnice tělesa:

$$X = R(\cos \Omega \cos L - \sin \Omega \sin L \cos i) \quad (3.5)$$

$$Y = R(\sin \Omega \cos L + \cos \Omega \sin L \cos i) \quad (3.6)$$

$$Z = R \sin L \sin i \quad (3.7)$$

$$R = \frac{a+b}{2} = \frac{a}{2} (1 + \sqrt{1-e^2}) \quad (3.8)$$

$$L = \omega + \nu - \Omega \quad (3.9)$$

Elementy dráhy Země pro určitý čas jsou většinou pro zjednodušení vypočítány pro barycentrum Země-Měsíc, takže započítávat topocentrickou korekci nemá smysl. Pro tělesa v blízkosti Země je ale třeba pořídit si přesnější elementy dráhy, přímo pro Zemi, a topocentrickou korekci započítat.

Heliocentrické pravoúhlé ekliptikální souřadnice Země získáme znovu použitím rovnic 3.5 až 3.9.

Geocentrické pravoúhlé ekliptikální souřadnice tělesa, které mají střed posunut od Slunce do Země <sup>1</sup> spočteme

$$X = X_T - X_Z \quad (3.10)$$

$$Y = Y_T - Y_Z \quad (3.11)$$

$$Z = Z_T - Z_Z \quad (3.12)$$

Geocentrické sférické ekliptikální souřadnice převedou naši soustavu do sférického systému s ekliptikální délkou  $\lambda$  a ekliptikální šířkou  $\beta$ . Základní rovinou této soustavy je rovina ekliptiky a základním směrem směr k jarnímu bodu.

$$\lambda = \arctan(Y/X) \quad (3.13)$$

$$\beta = \arctan(Z/\Delta) \quad (3.14)$$

$$\Delta = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (3.15)$$

Sférické rovníkové souřadnice II. druhu  $\alpha, \delta$  jsou nakloněny o sklon zemské rotační osy k ekliptice  $\varepsilon = 23.438641^\circ$ . Od ekliptiky nahoru a dolů počítáme deklinaci  $\delta = \langle +90, -90 \rangle$ , od jarního bodu v matematicky kladném směru<sup>2</sup> rektascenzi  $\alpha = \langle 0^h, 24^h \rangle$ .

$$\delta = \arcsin(\sin \beta \cos \varepsilon + \cos \beta \sin \varepsilon \sin \lambda) \quad (3.16)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\cos \beta \cos \lambda}{\cos \delta}\right) \quad (3.17)$$

Souřadnice  $\alpha, \delta$  převedeme z radiánů na stupně a rektascenzi vydělíme patnácti, abychom ji měli v hodinové míře. Standartní zápis efemerid je používán ve tvaru

---

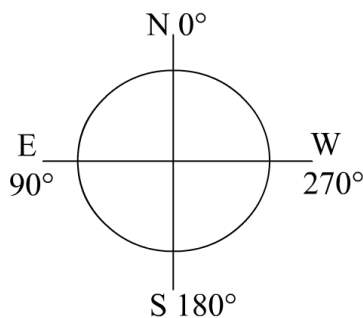
<sup>1</sup>resp. od gravitačního středu sluneční soustavy do barycentra Země-Měsíc, u přesnějších elementů dráhy Země pak do středu Země

<sup>2</sup>tedy proti směru hodinových ručiček

03337

Date	UT			R.A. (J2000)		Decl.		Delta	r	El.	Ph.	V	Sky Motion	
	h	m	s										"/min	P.A.
2008 06 10	000000	17 39	22.2	-20 22	29	1.980	2.991	173.5	2.2	16.6	0.52	273.0		
2008 06 11	000000	17 38	29.0	-20 21	50	1.978	2.990	174.5	1.9	16.6	0.52	273.0		
2008 06 12	000000	17 37	35.7	-20 21	11	1.976	2.989	175.4	1.5	16.6	0.52	272.9		
2008 06 13	000000	17 36	42.1	-20 20	32	1.975	2.989	176.2	1.3	16.5	0.52	272.9		

(03337) je číslo planety, pro které jsou efemeridy zapsány. Jako první údaj ke každé efemeridě zapisujeme čas ve formátu *rrrr mm dd hhmmss*, a to ve světovém čase. Následuje rektascenze  $\alpha$  a deklinace  $\delta$  pro uvedené ekviniokcium, v ukázce *J2000*. *Delta* je vzdálenost tělesa od pozorovatele v astronomických jednotkách (AU), *r* vzdálenost tělesa od Slunce, v AU. *El.*, Elongace, je úhel mezi směrem pohledu ke Slunci a k tělesu ve stupních. *Ph.* je Fáze, obdobná, jakou jeví například Venuše. Při výpočtu fáze se předpokládá těleso kulovitého tvaru. Fáze je měřena od středu kotoučku tělesa jako největší úhel ve stupních mezi dvěma směry k terminátoru tělesa, tedy linií mezi osvětlenou a neosvětlenou stranou. Fáze může nabývat hodnot mezi  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . *V* označuje předpovězenou jasnost ve *V* fotometrickém filtru v magnitudách. *SkyMotion*: *"/min P.A.* udává rychlost pohybu po obloze a poziční úhel. Poziční úhel počítáme od severu ve stupních směrem k východu. Různí autoři mohou v efemeridách udávat různé veličiny, podle toho,



Obrázek 3.1: Poziční úhel

které se jim zdají vhodné vypočítat. V této práci se soustředí především na výpočty drah planetek, a proto výpočet ostatních veličin pro stručnost zanedbám.

### 3.4 Metoda Väisäla

Pro výpočet dráhových elementů jsou dostačující tři pozorování (předpokládáme-li naprostou přesnost měření), poskytují nám totiž šest údajů, ze kterých je možno spočítat šest potřebných parametrů dráhy. Metoda Väisäla počítá dráhu pouze ze dvou pozorování, je tedy zřejmé, že ostatní "chybějící" data musí něčím nahradit - a to předpoklady. Při výpočtu dráhy touto metodou předpokládáme, že

(1) těleso se při druhém pozorování nachází ve svém perihéliu. Jelikož používáme předpoklady, které jsou vždy více či méně splněny, tato metoda není vhodná k určení definitivní dráhy. Užitečná je ale kdekoliv, kde nemáme ještě dost dlouhý oblouk dráhy k použití jiných metod výpočtu a potřebujeme pouze předpovědět polohu tělesa pro nejbližší dny a týdny, abychom prodloužili pozorovaný oblouk dráhy tělesa. Taková situace nastává především těsně po objevu tělesa, a jelikož bývají nové planety objevovány často poblíž perihélia, je tento předpoklad oprávněný.

(2) známe vzdálenost tělesa od pozorovatele. Tento předpoklad je již hůře splnitelný, ale znovu je možno využít statistického přístupu a nastavit vzdálenost tělesa při objevu na rozumných 2.6 AU, případně je možno vzdálenost kvalifikovaně odhadnout z rychlosti pohybu tělesa po obloze - tělesa poblíž Země budou velmi rychlá (i 100"/min), planety hlavního pásu pomalejší (0.7"/min), a tělesa Kuiperova pásu ještě pomalejší (0.04"/min i méně). Kromě toho i objevová pozorování mívají více než dva snímky - takže několika výpočty pro různé geocentrické vzdálenosti se můžeme docela úspěšně přiblížit hodnotě, která bude pro výpočet nepoužitých pozic lépe vyhovovat. Snažit se za každou cenu nalézt co nejpřesnější vzdálenost je zbytečné, metoda je natolik hrubá, že dráhu tímto způsobem nejde příliš zpřesnit. Navíc pro blízkozemní či velmi vzdálená tělesa, pro planety, jejichž dráha je rušená gravitací jiných objektů, stejně jako pro tělesa, u nichž nejsou dobře splněny výše uvedené dva předpoklady, dostaneme nejspíše velmi nepřesnou, či zcela chybnou, dráhu.

Pro podrobnější popis metody Väisäla včetně jejího matematického popisu doporučuji literaturu [3].

### 3.5 Gaussova metoda výpočtu dráhy ze tří pozorování

V této části je stručně uvedena Gaussova metoda tak, jak jsem ji ve své práci využila. Pro podrobnější a rozsáhlejší výklad této metody doporučuji knihu [1]. Pro samotný výpočet slouží pouze očíslované vzorce. Během výpočtu musí veličiny splňovat také další vztahy v samotném výpočtu nepoužité - tyto vztahy slouží jako kontrola správnosti výpočtu.

Vstupními údaji Gaussovy metody jsou tři pozorování. Každé z pozorování sestává z času pozorování  $t$  uvedeném v UT, rektascenze  $\alpha$  a deklinace  $\delta$  pozorované planety uvedené vzhledem k ekvinokciu roku pozorování a opravené o paralaxu - tedy vztažené vzhledem ke středu Země. Navíc je třeba mít ke každému času pozorování heliocentrické pravoúhlé ekliptikální souřadnice Slunce  $X$ ,  $Y$  a  $Z$ , a to ke stejnému ekvinokciu, jako souřadnice planety.

Při výběru pozorování je vhodné uvážit, že tato metoda není primárně určena pro výpočet drah při velmi krátkém sledovaném oblouku dráhy - přesnost metody je v přiblížení úměrná ploše, vytyčené na obloze třemi použitými polohami planety. Při krátkém oblouku dráhy doporučuji využití väisälövske metody, rozebrané v [3].

Gaussova metoda výpočtu dráhy nejprve vykreslí ze tří pozic pozorovatele (tj. z pozice v časech  $t_1$ ,  $t_2$  a  $t_3$ ) směry pohledu k tělesu. Pak je protne rovinou, procházející středem Slunce (přesněji gravitačním středem sluneční soustavy); a to tak, aby po vykreslení kuželosečky, procházející průsečíky směru pohledu a roviny, v jejímž ohnisku je střed Slunce (resp. gravitační střed sluneční soustavy), splňovaly dvojnásobky ploch mezi 1. a 2. průvodičem  $[r_1r_2]$ , a 2. a 3. průvodičem  $[r_2r_3]$ , Keplerovy zákony. Gauss ukázal, že plochy mezi průvodiči můžeme spočítat přesně i bez předchozí znalosti parametrů dráhy a oběžné doby tělesa, a proto tato metoda výpočtu nese jeho jméno. Tak získáme tři polohy tělesa v prostoru a určení parametrů dráhy se stává triviálním problémem.

### 3.5.1 Výpočet pomocných veličin

Geocentrické a heliocentrické souřadnice tělesa jsou spolu spřáhány vztahy:

$$\begin{aligned}\rho_i \cos \delta_i \cos \alpha_i &= x_i + X_i \\ \rho_i \cos \delta_i \sin \alpha_i &= y_i + Y_i \\ \rho_i \sin \delta_i &= z_i + Z_i\end{aligned}$$

pro  $i = 1, 2, 3$ ,

kde  $\rho_i$  je neznámá vzdálenost tělesa,  $\delta_i$  a  $\alpha_i$  ze snímku změřené souřadnice tělesa, známé heliocentrické souřadnice Slunce jsou  $X_i$ ,  $Y_i$  a  $Z_i$  a neznámé heliocentrické souřadnice tělesa  $x_i$ ,  $y_i$  a  $z_i$ . Podělíme-li rovnice  $\rho_i$ , získáme

$$a_i = \cos \delta_i \cos \alpha_i \quad (3.18)$$

$$b_i = \cos \delta_i \sin \alpha_i \quad (3.19)$$

$$c_i = \sin \delta_i \quad (3.20)$$

pro  $i = 1, 2, 3$ ,

kde  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  vytyčují směr pohledu k tělesu.

Kontrola:  $a_i^2 + b_i^2 + c_i^2 = 1$

Pak také platí pro heliocentrické souřadnice tělesa vztahy 3.42, 3.51 a 3.44. Vydeme z obecné rovnice roviny  $Ax + By + Cz + D = 0$ , a napíšeme ji pro každé pozorování. Pro netriviální případy, se zahrnutím ploch trojúhelníků vytyčených průvodiči, a substitucí těchto ploch za  $n_1 = [r_2 r_3]/[r_1 r_3]$  a  $n_3 = [r_1 r_2]/[r_1 r_3]$  získáme rovnice<sup>3</sup>

$$n_1 x_1 - x_2 + n_3 x_3 = 0$$

$$n_1 y_1 - x_2 + n_3 y_3 = 0$$

$$n_1 z_1 - x_2 + n_3 z_3 = 0$$

a dosazením heliocentrických souřadnic tělesa pak

$$a_1 n_1 \rho_1 - a_2 \rho_2 + a_3 n_3 \rho_3 = n_1 X_1 - X_2 + n_3 X_3 \quad (3.21)$$

$$b_1 n_1 \rho_1 - b_2 \rho_2 + b_3 n_3 \rho_3 = n_1 Y_1 - Y_2 + n_3 Y_3 \quad (3.22)$$

$$c_1 n_1 \rho_1 - c_2 \rho_2 + c_3 n_3 \rho_3 = n_1 Z_1 - Z_2 + n_3 Z_3. \quad (3.23)$$

---

<sup>3</sup>podrobnější výklad jejich odvození viz [1]

Tato soustava rovnic je numericky řešena tak, že  $n_1\rho_1$  a  $n_3\rho_3$  jsou z rovnic eliminovány a dostaneme řešení s koeficienty  $D$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  a  $d_3$ , různými podle zvoleného postupu numerického řešení, v rovnici ve tvaru

$$-D\rho_2 = d_1n_1 - d_2 + d_3n_3 \quad (3.24)$$

### 3.5.2 Aproximace

Nyní je potřeba zjistit poměry ploch mezi průvodiči, vyjádřené veličinami  $n_1$  a  $n_3$ . Předpokládejme obecný dvoudimenzionální případ, pak bude pohyb tělesa vyjádřen vztahy

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -k^2 \frac{x}{r^3}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -k^2 \frac{y}{r^3}.$$

Je vhodné zvolit novou časovou jednotku  $\tau$  tak, aby  $k$  bylo z rovnic eliminováno, tedy  $\tau = kt$ . Pro tři měření ve výpočtu bude

$$\begin{aligned} \tau_1 = k(t_3 - t_2), \tau_2 = k(t_3 - t_1), \tau_3 = k(t_2 - t_1) \\ k = 0.01720210 \end{aligned} \quad (3.25)$$

Encke ukázal, že

$$n_1 = \frac{\tau_1}{\tau_2} + \frac{1}{6}\tau_1\tau_3 \frac{1 + \frac{\tau_1}{\tau_2}}{r_2^3}, \quad n_3 = \frac{\tau_3}{\tau_2} + \frac{1}{6}\tau_1\tau_3 \frac{1 + \frac{\tau_3}{\tau_2}}{r_2^3}.$$

Označme si

$$n_1^\circ = \frac{\tau_1}{\tau_2}, \quad n_3^\circ = \frac{\tau_3}{\tau_2} \quad (3.26)$$

$$\nu_1 = \frac{1}{6}\tau_1\tau_3(1 + n_1^\circ), \quad \nu_3 = \frac{1}{6}\tau_1\tau_3(1 + n_3^\circ), \quad (3.27)$$

Kontrola:  $n_1^\circ + n_3^\circ = 1$

Kontrola:  $\nu_1 + \nu_3 = \frac{1}{2}\tau_1\tau_3$

pak získáme rovnici 3.36. K jejímu výpočtu ale potřebujeme ještě průvodič  $r_2$ . Dosazením rovnice 3.26 do 3.24 získáme rovnici<sup>4</sup>

$$-D\rho_2 = d_1n_1^\circ - d_2 + d_3n_3^\circ + \frac{d_1\nu_1 + d_3\nu_3}{r_2^3}$$

---

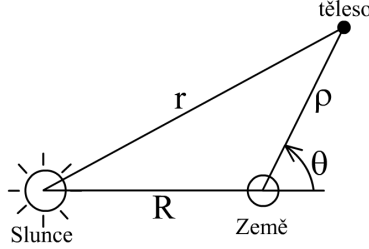
<sup>4</sup>pokud dráha tělesa leží v rovině ekliptiky, nelze získat  $r_2$ , a je nutné uchýlit se k metodě výpočtu dráhy ze čtyř pozorování. Zároveň, čím menší je sklon dráhy tělesa k rovině ekliptiky ( $i$ ), tím nepřesnější hodnotu  $r_2$  je možno touto rovnicí získat.

a po vytknutí  $\rho_2$  rovnici 3.31, kde

$$k_0 = \frac{d_1 n_1^\circ - d_2 + d_3 n_3^\circ}{-D}, \quad l_0 = \frac{d_1 \nu_1 + d_3 \nu_3}{D} \quad (3.28)$$

Kontrola:  $k_0 = l_0 : R_2^3$  (přibližně)

Nyní jsme vyjádřili průvodič  $r_2$  pouze pomocí jedné neznámé,  $\rho_2$ . Z geome-



Obrázek 3.2: Geometrické uspořádání problému

trie problému, viz 3.2 vyplývá vztah 3.32, kde

$$2R_i \cos \theta_i = -2(a_i X_i + b_i Y_i + c_i Z_i) \quad (3.29)$$

$$R_i^2 = X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2. \quad (3.30)$$

Kontrola:  $(X_i - a_i)^2 + (Y_i - b_i)^2 + (Z_i - c_i)^2 = R_i^2 + 2R_i \cos \theta_i + 1$

Zbývá vyřešit následující dvě rovnice

$$\rho_2 = k_0 - \frac{l_0}{r_2^3} \quad (3.31)$$

$$r_2^2 = R_2^2 + 2R_2 \rho_2 \cos \theta_2 + \rho_2^2, \quad (3.32)$$

a to iterační metodou. V prvním přiblížení pro planety je  $\rho_2 = k_0$ . Tak získáme  $r_2$ , s kterým spočteme přesnější  $\rho_2$ , a tak dále. Konvergenci je možno urychlit. Označme si první hodnotu  $k_0 = \rho_2 = \rho_{2,i}$ , a hodnotu získanou z aproximace  $\rho_{2,f1} = \rho_{2,i} + \Delta_1$ . Pak druhá hodnota, získaná aproximací, bude  $\rho_{2,f2} = \rho_{2,f1} + \Delta_2$  a třetí hodnota při lineárním přiblížení bude

$$\Delta_1 = \rho_{2,f1} - \rho_{2,i} \quad (3.33)$$

$$\Delta_2 = \rho_{2,f2} - \rho_{2,f1} \quad (3.34)$$

$$\rho_{2,f3} = \rho_{2,i} + \frac{\Delta_1^2}{\Delta_1 - \Delta_2} \quad (3.35)$$



Konečně se tedy můžeme pustit do řešení rovnic

$$n_1 = n_1^\circ + \frac{\nu_1}{r_2^3}, \quad n_3 = n_3^\circ + \frac{\nu_3}{r_2^3}. \quad (3.36)$$

Z rovnic 3.23 získáme  $n_1\rho_1$  a  $n_3\rho_3$ , abychom je mohli použít pro výpočet  $\rho_1$  a  $\rho_3$ :

$$n_3\rho_3 = \frac{1}{a_3}(n_1X_1 - X_2 + n_3X_3 + a_2\rho_2) \quad (3.37)$$

$$n_1\rho_1 = \frac{1}{a_1}(n_1X_1 - X_2 + n_3X_3 + a_2\rho_2 - a_3n_3\rho_3) \quad (3.38)$$

$$\rho_1 = \frac{n_1\rho_1}{n_1}, \quad \rho_3 = \frac{n_3\rho_3}{n_3}. \quad (3.39)$$

Tyto hodnoty, spolu s předchozími výpočty z 3.29 a 3.30 umožňují spočítat zbylé dva průvodiče

$$r_1^2 = R_1^2 + 2R_1\rho_1 \cos \theta_1 + \rho_1^2 \quad (3.40)$$

$$r_3^2 = R_3^2 + 2R_3\rho_3 \cos \theta_3 + \rho_3^2. \quad (3.41)$$

Pak jsou heliocentrické souřadnice tělesa

$$x_i = a_i\rho_i - X_i \quad (3.42)$$

$$y_i = b_i\rho_i - Y_i \quad (3.43)$$

$$z_i = c_i\rho_i - Z_i, \quad \text{kde } i = 1, 2, 3. \quad (3.44)$$

Kontrola:  $x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = r_i^2$ .

### 3.5.3 Zlepšení aproximace

Nyní již známe vzdálenost tělesa v každém ze tří okamžiků pozorování, takže můžeme opravit pozorování o planetární aberaci.

$$t_i^\circ = t_i - A\rho_i; \quad A = 0.005772\text{dne} \quad (3.45)$$

S opravenými časy přepočteme  $\tau_i$ ,  $n_1$  a  $n_3$ :

$$\tau_1 = t_3^\circ - t_2^\circ; \tau_2 = t_3^\circ - t_1^\circ; \tau_3 = t_2^\circ - t_1^\circ \quad (3.46)$$

$$n_1 = \frac{\tau_1}{\tau_2}; n_3 = \frac{\tau_3}{\tau_2} \quad (3.47)$$

Dále nás bude zajímat poměr plochy opsané průvodičem k ploše vytyčené trojúhelníkem s vrcholy ve dvou heliocentrických souřadnicích tělesa a ohnisku opisované elipsy. Těleso se nachází v bodě  $x, y, z$  v čase  $t$  a v bodě  $x', y', z'$  v čase  $t'$ . Tedy za čas  $t' - t$  se posune o úhel mezi průvodiči  $v' - v = 2f$ . Pak z geometrie problému vidíme, že platí  $rr' \cos 2f = xx' + yy' + zz'$ . Označme si  $\kappa = 2\sqrt{rr'} \cos f$ , takže

$$\kappa_1^2 = 2(r_2 r_3 + x_2 x_3 + y_2 y_3 + z_2 z_3), \quad (3.48)$$

$$\kappa_2^2 = 2(r_1 r_3 + x_1 x_3 + y_1 y_3 + z_1 z_3), \quad (3.49)$$

$$\kappa_3^2 = 2(r_1 r_2 + x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2). \quad (3.50)$$

Označme si dvojnásobky plochy opsané mezi každými dvěma průvodiči  $(r_1 r_2)$ ,  $(r_2 r_3)$  a  $(r_1 r_3)$ . Poměr těchto ploch k plochám trojúhelníků, které průvodiče vytyčují, nechť jsou

$$\bar{y}_1 = \frac{(r_2 r_3)}{[r_2 r_3]}, \quad \bar{y}_2 = \frac{(r_1 r_3)}{[r_1 r_3]}, \quad \bar{y}_3 = \frac{(r_1 r_2)}{[r_1 r_2]}.$$

Od prvního řešení podaného Gaussem vyvinulo množství dalších autorů metody, jak poměry těchto ploch spočítat, mezi nejznámější bude jistě patřit Encke. V této práci se řešením úlohy poměrů uvedených ploch pro stručnost zabývat nebudeme, a uvedeme jen vzorce nutné k výpočtu. Hansen také ukázal, jak je možno  $\bar{y}_i$  získat:

$$\bar{y}_i = 1 + \frac{10}{11} \frac{\frac{11}{9} h_i}{1 + \frac{\frac{11}{9} h_i}{1 + \frac{11}{9} h_i}} \quad (3.51)$$

$$\text{kde } h_1 = \frac{\tau_1^2}{\kappa_1^2 \left( \frac{\kappa_1}{3} + \frac{r_2 + r_3}{2} \right)} \quad (3.52)$$

$$h_2 = \frac{\tau_2^2}{\kappa_2^2 \left( \frac{\kappa_2}{3} + \frac{r_1 + r_3}{2} \right)} \quad (3.53)$$

$$h_3 = \frac{\tau_3^2}{\kappa_3^2 \left( \frac{\kappa_3}{3} + \frac{r_1 + r_2}{2} \right)} \quad (3.54)$$

Pokud těleso prochází více jak 30% oblouku své dráhy, je vhodnější použít přesnější Gaussův postup:

$$m_i = \frac{\tau_i^2}{\kappa_i^3} \quad (3.55)$$

$$l_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{r_2 + r_3}{\kappa_1} - 1 \right) \quad (3.56)$$

$$l_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{r_1 + r_3}{\kappa_2} - 1 \right) \quad (3.57)$$

$$l_3 = \frac{1}{2} \left( \frac{r_1 + r_2}{\kappa_3} - 1 \right) \quad (3.58)$$

$$x_i = \frac{m_i}{\bar{y}_i^2} - l_i \quad (3.59)$$

$$h_i = \frac{m_i}{\frac{5}{6} + l_i + \xi_i}, \quad (3.60)$$

kde  $\xi_i$  nalezneme v [1] v tabulce VIII a na CD v příloze této práce. Následně spočteme novou hodnotu  $\bar{y}_i$  podle vzorce 3.51.

První Keplerův zákon říká, že poměry ploch opsaných průvodičem jsou úměrné době, po kterou tuto plochu opisovaly, tedy

$$n_1 = \frac{\tau_1 \bar{y}_2}{\tau_2 \bar{y}_1}, \quad n_3 = \frac{\tau_3 \bar{y}_2}{\tau_2 \bar{y}_3}.$$

Využijeme-li značení, zavedeného v 3.36, pak

$$n_1 = n_1^\circ \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1}, \quad n_3 = n_3^\circ \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_3}. \quad (3.61)$$

Jestliže tyto nové hodnoty  $n_1$  a  $n_3$  jsou dostatečně stejné s hodnotami, získanými vzorci 3.36, je možné pokračovat přímo výpočtem dráhových elementů. Jinak přepočteme

$$\nu_1 = n_1^\circ \left( \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} - 1 \right) r_2^3, \quad \nu_3 = n_3^\circ \left( \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_3} - 1 \right) r_2^3, \quad (3.62)$$

a výpočty 3.28 až 3.61 jsou zopakovány.

Kontrola po dokončení aproximací: Hodnoty  $x_2$ ,  $y_2$  a  $z_2$ , získané z rovnic 3.42, 3.51 a 3.44 musí souhlasit s hodnotami

$$\begin{aligned} x_2 &= n_1 x_1 + n_3 x_3 \\ y_2 &= n_1 y_1 + n_3 y_3 \\ z_2 &= n_1 z_1 + n_3 z_3. \end{aligned}$$

Navíc, dosazením spočtených údajů do úvodních rovnic

$$\begin{aligned} \rho_i \cos \delta_i \cos \alpha_i &= x_i + X_i \\ \rho_i \cos \delta_i \sin \alpha_i &= y_i + Y_i \\ \rho_i \sin \delta_i &= z_i + Z_i \\ &\text{pro } i = 1, 2, 3 \end{aligned}$$

je možno získat spočtené pozice tělesa  $(\alpha_i, \delta_i)$ , které můžeme porovnat se skutečně pozorovanými pozicemi.

### 3.5.4 Určení elementů dráhy

Z geometrie je jasně zřejmé, že druhá mocnina dvojnásobku plochy trojúhelníku vytyčeného průvodiči  $r_1$  a  $r_3$  je rovna součtu druhých mocnin ploch průmětů této plochy do souřadnicových rovin, tedy

$$[r_1 r_3 \sin(\nu_3 - \nu_1)]^2 = (y_1 z_3 - z_1 y_3)^2 + (z_1 x_3 - x_1 z_3)^2 + (x_1 y_3 - y_1 x_3)^2,$$

nebo také

$$r_1 r_3 \cos(\nu_3 - \nu_1) = x_1 x_3 + y_1 y_3 + z_1 z_3.$$

Označme si

$$\sigma = \frac{x_1 x_3 + y_1 y_3 + z_1 z_3}{r_1^2}, \quad (3.63)$$

$$x_0 = x_3 - \sigma x_1, \quad (3.64)$$

$$y_0 = y_3 - \sigma y_1, \quad (3.65)$$

$$z_0 = z_3 - \sigma z_1, \quad (3.66)$$

$$r_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + z_0^2, \quad (3.67)$$

pak výše uvedené rovnice přecházejí na tvar

$$\sin(\nu_3 - \nu_1) = \frac{r_0}{r_3}, \quad (3.68)$$

$$\cos(\nu_3 - \nu_1) = \frac{\sigma r_1}{r_3} = \frac{x_1 x_3 + y_1 y_3 + z_1 z_3}{r_1 r_3}, \quad (3.69)$$

který umožňuje spočítat úhel pro rozdíl pravých anomálií  $(\nu_3 - \nu_1)$ , a to tak, že sinus i kosinus musí oba náležet hledanému úhlu. Zvláště je třeba dát pozor na určení správného kvadrantu.

Z definice

$$\bar{y} = \frac{(rr')}{[rr']} = \frac{\tau \sqrt{p}}{rr' \sin 2f}$$

zapíšeme indexy pro  $\bar{y}_2$  a vytkneme:

$$\sqrt{p} = \frac{r_1 r_0}{\tau_2} \bar{y}_2 \quad (3.70)$$

Rovnice pro popis kuželosečky s ohniskem v počátku souřadnic je

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \nu}.$$

Zapišeme tyto rovnice pro průvodiče  $r_1$  a  $r_2$ , substituujeme  $\cos \nu = q$  a vytkneme  $q_1$  a  $q_2$ :

$$q_1 = \frac{p}{r_1} - 1, \quad q_3 = \frac{p}{r_3} - 1. \quad (3.71)$$

Tyto rovnice můžeme přepsat do tvaru, který spolu se substitucí pro  $q_1$  umožňuje získat úhel pro pravou anomálii  $\nu_1$ , a to ze znalosti  $e \sin \nu_1$  a  $e \cos \nu_1$ .

$$e \cos \nu_1 = q_1, \quad (3.72)$$

$$e \sin \nu_1 = \frac{q_1 \cos(\nu_3 - \nu_1) - q_3}{\sin(\nu_3 - \nu_1)}. \quad (3.73)$$

Jelikož je zřejmé, že  $\nu_3 = \nu_3 + \nu_1 - \nu_1$ , můžeme hned spočítat také pravou anomálii  $\nu_3$ , a ze známých  $\nu_1$  a  $e \sin \nu_1$  excentricitu dráhy  $e$ . Excentricita dráhy a úhel excentricity  $\varphi$  jsou navzájem ekvivalentní parametry dráhy, takže můžeme snadno spočítat i druhý z nich.

$$\nu_3 = \nu_1 + (\nu_3 - \nu_1) \quad (3.74)$$

$$e = \frac{e \sin \nu_1}{\sin(\nu_1)} \quad (3.75)$$

$$\varphi = \arcsin e \quad (3.76)$$

Parametr  $p = b^2/a$ . Z geometrie elipsy víme, že numerická výstřednost  $e = \sqrt{a^2 - b^2}/a$ , takže po vyjádření velké poloosy  $a$  a dosazení za malou poloosu  $b^2$  dostaneme velkou poloosu  $a$ :

$$a = \frac{p}{1 - e^2} \quad (3.77)$$

Tímto jsme získali tvar dráhy tělesa, hodnoty velké poloosy  $a$  a výstřednosti  $e$ . Z rozboru problému dvou těles, dostupném běžně v literatuře, např. [1], využijeme rovnice

$$\tan\left(\frac{1}{2}E_1\right) = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \tan\left(\frac{1}{2}\nu_1\right), \quad (3.78)$$

$$\tan\left(\frac{1}{2}E_3\right) = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \tan\left(\frac{1}{2}\nu_3\right). \quad (3.79)$$

Tak dostaneme hodnoty excentrických anomálií  $E_1$  a  $E_3$ .  
Kontrola:  $a \cos \varphi \sin(\frac{1}{2}(E_3 - E_1)) = \sqrt{r_1 r_3} \sin(\frac{1}{2}(\nu_3 - \nu_1))$ .

Z Keplerovy rovnice  $E = M + e \sin E$  spočteme střední anomálie  $M$ . Střední denní pohyb  $\mu$  získáme z rozdílů středních anomálií za rozdíl času (ve dnech) pozorování, tedy z toho, jaký úhel těleso urazilo mezi dvěma časy. Zároveň střední denní pohyb  $\mu$  souvisí díky třetímu Keplerovu zákonu s velkou poloosou.

$$M_1 = E_1 - e \sin E_1, \quad M_3 = E_3 - e \sin E_3, \quad (3.80)$$

$$\mu = \frac{M_3 - M_1}{t_3 - t_1} = \frac{k}{a^{3/2}}, \quad (3.81)$$

$$\text{kde } k = 3548.188''. \quad (3.82)$$

Kontrola: Obě získané hodnoty  $\mu$  musí být shodné.

Epocha pomáhá určit polohu tělesa na dráze, a to tak, že ve zvolenou epochu má těleso v parametrech dráhy uvedenou střední anomálii  $M_0$ . Těleso se pohybuje po dráze středním denním pohybem  $\mu$ , a proto nyní musíme pro vybranou epochu  $t_0$ , pro kterou budou elementy dráhy, přepočítat střední anomálii

$$M_0 = M_1 + \mu(t_0 - t_1^o) = M_3 + \mu(t_0 - t_3^o). \quad (3.83)$$

Kontrola: Obě získané hodnoty  $M_0$  musí být shodné.

Spočteme nyní směrové kosiny dráhy  $P$  a  $Q$ . Jde o dva vektory v prostoru, celkem tedy šest údajů. Šest parametrů je plně postačujících k určení jednoznačné dráhy tělesa, takže tyto vektory jsou ekvivalentní alternativou "klasických" elementů dráhy.

$$P_x = x_1 \frac{\cos \nu_1}{r_1} - x_0 \frac{\sin \nu_1}{r_0}, \quad Q_x = x_1 \frac{\sin \nu_1}{r_1} - x_0 \frac{\cos \nu_1}{r_0}, \quad (3.84)$$

$$P_y = y_1 \frac{\cos \nu_1}{r_1} - y_0 \frac{\sin \nu_1}{r_0}, \quad Q_y = y_1 \frac{\sin \nu_1}{r_1} - y_0 \frac{\cos \nu_1}{r_0}, \quad (3.85)$$

$$P_z = z_1 \frac{\cos \nu_1}{r_1} - z_0 \frac{\sin \nu_1}{r_0}, \quad Q_z = z_1 \frac{\sin \nu_1}{r_1} - z_0 \frac{\cos \nu_1}{r_0}, \quad (3.86)$$

Abychom si byli jisti dostatečnou přesností spočtených vektorů, vypočteme následující vzorce, a aplikujme níže vypsané kontrolní vzorce.

$$A_x = aP_x, \quad B_x = a \cos \varphi Q_x \quad (3.87)$$

$$A_y = aP_y, B_y = a \cos \varphi Q_y \quad (3.88)$$

$$A_z = aP_z, B_z = a \cos \varphi Q_z \quad (3.89)$$

Kontrola:

$$A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 = a^2$$

$$B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 = a^2 \cos^2 \varphi$$

$$A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z = 0.$$

Přikročíme k určení orientace roviny dráhy tělesa v prostoru. Označme sklon zemské osy  $\epsilon = 23^\circ 26' 46.7'' = 0.409215..$  rad.

$$\sin i \sin \omega = P_z \cos \epsilon - P_y \sin \epsilon \quad (3.90)$$

$$\sin i \cos \omega = Q_z \cos \epsilon - Q_y \sin \epsilon \quad (3.91)$$

Argument délky perihelia  $\omega$  získáme ze znalosti  $\sin i \sin \omega$  a  $\sin i \cos \omega$ . Pak jej dosadíme zpátky do obou rovnic a dostaneme sklon dráhy  $i$ . Z následujících dvou rovnic obdobně získáme výstupný uzel dráhy  $\Omega$ :

$$\sin \Omega = (P_y \cos \omega - Q_y \sin \omega) \sec \epsilon, \quad (3.92)$$

$$\cos \Omega = P_x \cos \omega - Q_x \sin \omega. \quad (3.93)$$

Tím jsme se dobrali šesti potřebných parametrů dráhy, určených pro epochu  $t_0$ :

střední anomálie	$M$	ze vzorce 3.83
velké poloosy	$a$	ze vzorce 3.77
excentricity	$e$	ze vzorce 3.75
délky výstupného uzlu	$\Omega$	ze vzorců 3.92, 3.93
sklonu	$i$	ze vzorců 3.90, 3.91
argumentu šířky perihélia	$\omega$	ze vzorců 3.90, 3.91

a navíc jsme také získali

střední denní pohyb	$n$	ze vzorce 3.82 matematicky ekvivalentní s velkou poloosou $a$
dobu oběhu v rocích	$P$	z 3. Keplerova zákona $P^2/a^3 = 1$
úhel excentricity	$\varphi$	ze vzorce 3.76 použitelný místo excentricity $e$
dobu průchodu periheliem	$T$	ze vzorce $M = n(t_0 - T)$ ekvivalentní se střední anomálií $M$ .

Výsledek výpočtu je vhodné zapsat v tvaru běžně používaném Minor Planet Center. Tabulka, následující za ukázkou tohoto tvaru zápisu parametrů dráhy osvětluje použité značení.

(3337) Milos  
 Epoch 2008 May 14.0 TT = JDT 2454600.5 MPC  
 M 227.29091 (2000.0) P Q  
 n 0.20545282 Peri. 217.95569 +0.79696436 -0.60402614  
 a 2.8444260 Node 179.20263 +0.56230121 +0.74162015  
 e 0.0789952 Incl. 1.98205 +0.22060180 +0.29180811  
 P 4.80 H 12.5 G 0.15 U 0

(3337) *Milos* Číslo, příp. jméno planetky

*Epoch* Epocha  $t_0$ , pro kterou jsou uvedeny níže zapsané parametry dráhy, následuje také zápis epochy v juliánském datu *JDT*

(2000.0) Ekvinokcium, pro které platí souřadný systém (ten se totiž posouvá spolu s jarním bodem)

*M, n, a, e* spočtené parametry dráhy

*Peri.* Argument šířky perihélia  $\omega$

*Node* Délka výstupného uzlu  $\Omega$

*Incl.* Sklon dráhy  $i$

*P a Q* Třetí a čtvrtý sloupec uvádějí směrové kosiny dráhy, vektory spočtené v průběhu výpočtu dráhy v rovnicích 3.84, 3.85, 3.86

*P* Doba oběhu v rocích

*H* Absolutní jasnost tělesa spočtená z fotometrického měření

*G* Odrazivost tělesa, která je u nových planetek předpokládána  $G = 0.15$  (odpovídá odrazivosti běžné skály)

*U* Parametr určující nepřesnost efemeridy tělesa po deseti letech

U	$\Delta$ ["/10 let]	U	$\Delta$ ["/10 let]
0	< 1.0	5	< 1692
1	< 4.4	6	< 7488
2	< 19.6	7	< 33121
3	< 86.5	8	< 146502
4	< 382	9	> 146502



# Kapitola 4

## Vlastní realizace

### 4.1 Výpočtový program

Pro účely této práce byl vytvořen program pro výpočty drah planetek. Program je schopen počítat dráhy a předpovědi polohy tělesa metodou Väisäla popsané v práci [3], a to ze dvou pozorování a zadané vzdálenosti tělesa. Dále je schopen počítat dráhy Gaussovou metodou ze tří pozorování, tak, jak je tato metoda popsána v kapitole 3.5 této práce. Program má v sobě uloženy parametry dráhy barycentra Země-Měsíc, které při výpočtu používá. Také je schopen spočítat efemeridu - tedy pro zadané parametry dráhy a čas určit pozici tělesa na pozemské obloze.

### 4.2 Dostupná vstupní data

Během vypracovávání této práce byla samostatně autorkou této práce prováděna pozorování pomocí 0.57m zrcadlového dalekohledu na Observatoři Kleť. Teleskop je vybaven CCD kamerou SBIG ST-8. Tělesa byla vybírána pomocí webového rozhraní balíku programů Kleť Software Package, následně byla zpracována jejich efemerida a určena vhodná doba expozice. Snímky byly ihned po pořízení zpracovávány pomocí softwaru *Astrometry* vyvinutého na Observatoři Kleť [6]. K získání pozic srovnávacích hvězd byl užit USNO-B1.0 katalog. Získané výsledky byly promptně odesílány do Minor Planet Center.

Od srpna 2007 do května 2008 bylo během 17 nocí získáno celkem 785 pozic 91 malých těles sluneční soustavy, z toho 630 pozic 69 planetek a 155 pozic 22 komet. Seznam pozic těles provedených pozorování je možno nalézt v dodatku A této práce.

Typy drah a počty pozorovaných planetek	
Křížiči dráhy Marsu	3
NEA typ Amor	18
NEA typ Apollo	34
NEA typ Aten	6
Kentauři	1
Křížiči drah vnějších planet	2

Zároveň z 58 pozorovaných NEAs<sup>1</sup> jich 18 patří do skupiny planetek PHAs<sup>2</sup> a 5 těles patřilo v době pozorování zároveň mezi Virtuální Impaktory (V.I.), což jsou tělesa s nenulovou pravděpodobností srážky se Zemí v příštích sto letech<sup>3</sup>. K pozorování byla vybírána výhradně tělesa, u nichž bylo možno získanými daty přispět ke zpřesnění jejich drah. Kromě toho u planetky s označením 2005 WJ56 umožnila přesná poloha získaná pozorováním zaměřit planetku radarem a provést radarové pozorování.

---

<sup>1</sup>Near Earth Asteroids, skupina blízkozemních planetek typu Amor, Aten a Apollo, podle typu dráhy

<sup>2</sup>Potentially Hazardous Asteroids, objekty, které se mohou přiblížit k Zemi na  $<0,05$  AU, a mají průměr nejméně 150 m.

<sup>3</sup>Šlo o tělesa s katalogovým označením 2007 PA8, 2008 AF4, 2008 BD15, 2008 CK70 a 2008 HR3

## 4.3 Výpočet dráhy vybraných těles

### 4.3.1 Vzorové těleso

Program byl nejprve otestován na datech použitých v [1]:

Planet 1933 NA

G. N. Neumin at Simeis (Crimea)

I	No.	day	UT			a(1933.0)			d(1933.0)		
			h	m		h	m	s	deg	min	sec
1	1933 July	1	23	3.0	1.96042	19	28	2.28	-13	52	7.3
2		29	21	23.3	29.89118	19	3	43.85	-14	7	8.5
3	Aug.	27	20	12.6	58.84204	18	59	13.08	-15	14	38.2

Planet 1933 NA

Elementy - Dubyago

Ekvinokcium 1933.0

Epocha 1933 July 27.0 U.T.

Planet 1933 NA

Elementy - Vlastní výpočet

Ekvinokcium 1933.0

Epocha 1933 July 27.0 U.T.

$M_0$	13° 09' 10.8"	$M_0$	13° 05' 07.8"
$\omega$	50° 41' 45.4"	$\omega$	50° 46' 54.6"
$\Omega$	226° 32' 40.7"	$\Omega$	226° 29' 49.7"
$i$	4° 20' 55.3"	$i$	4° 20' 49.4"
$\varphi$	8° 59' 25.4"	$\varphi$	8° 59' 23.8"
$\mu$	1065.252"	$\mu$	1065.132"

Přesnost výpočtu se ukázala dostatečná, program provádí výpočet podle Gaussovy metody tak, jak je očekáváno. Rozdíl oproti výsledkům Dubyaga je zapříčiněn čistě zaokrouhlovacími chybami.

### 4.3.2 Planetka 2008 CN1

Planetka ze skupiny Aten, která patří nejen mezi NEO, ale také k PHA planetkám. Těleso má 245 metrů v průměru a bylo objeveno 2. února 2008. Na Kleti byla planetka pozorována M. Honkovou v průběhu pěti nocí mezi 9. únorem 2008 a 17. únorem 2008, bylo získáno celkem 21 pozic tělesa.

Vstupní pozorování.

K08C01N	C2008	02	09.97341	13	29	12.18	+12	35	45.6	18.6	R	046
K08C01N	C2008	02	12.97985	12	42	56.87	+13	57	56.6			046
K08C01N	C2008	02	17.03728	11	19	40.88	+14	59	49.4			046

Väisälöva metoda.

První dvě pozorování byla použita jako vstup a vzdálenost k tělesu  $\rho_2$  byla nastavena tak, aby předpověď pro čas třetího pozorování dobře souhlasila s napozorovanou polohou v době třetího pozorování. Výpočet bylo možno provést pouze s  $\rho_2 < 0.358$  AU, přičemž s rostoucí vzdáleností se vypočtená pozice blížila pozorované. Bylo tedy zvoleno  $\rho_2 = 0.357$  AU. Podle chování výpočtu bylo možné odhadnout, že těleso se nachází poblíž Země. Spočtené parametry dráhy dávají smysl pouze pro kometu z vnější části slunečního systému, těleso totiž bylo pozorováno poblíž Země a proto s použitými nepřesnými parametry dráhy barycentra Země-Měsíc není možné získat kvalitnější dráhové elementy.

K08C01N	C2008	02	17.03730	11	06	27.87	+15	00	30.7			Předpověď
K08C01N	C2008	02	17.03728	11	19	40.88	+14	59	49.4			Pozorování

2008 CN1  
Elementy - Väisälö  
Ekvinokcium 2000  
Epocha 2008 Feb 13.0 U.T.

$M_0$	0.001
$a$	262.3732
$e$	0.9952
$i$	44.7041
$\omega$	353.27
$\Omega$	328.71
$\mu$	0.00023

Gaussova metoda výpočtu dráhy.

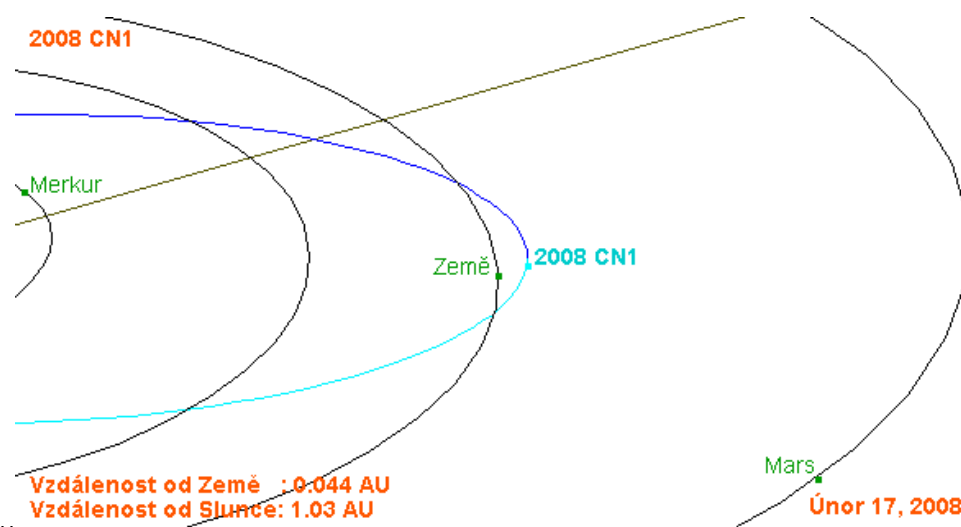
Jako vstup do programu sloužily tři výše uvedená pozorování. Přibližné parametry dráhy barycentra Země-Měsíc byly převzaty z [8]. Výpočet proběhl, ale určil excentricitu  $e > 1$ , což bylo očekáváno - těleso se nacházelo poblíž Země a proto nepřesná pozice pozorovatele, určená pouze hrubou polohou barycentra Země-Měsíc, pro výpočet naprosto nedostačovala.

Proto byl výpočet proveden znovu, a poloha Země pro časy pozorování byla určena pomocí softwaru Observatoře Kleť matematickým rozvojem. Parametry dráhy byly porovnány s drahou spočtenou JPL [8]. Jak je vidět z následující tabulky, nejvíce se liší hodnoty u střední anomálie  $M_0$ . Jde o rozdíl pouze zdánlivý, jelikož obě sady elementů drah jsou platné pro jinou epochu - a střední anomálie určuje pozici tělesa na dráze v čase epochy.

2008 CN1		2008 CN1	
Elementy - Gaussova metoda		Elementy - JPL	
Ekvinokcium 2000.0		Ekvinokcium 2000.0	
Epocha 2008 Feb 04.0 U.T.		Epocha 2008 May 14.0 U.T.	
$M_0$	140.86300	$M_0$	286.687
$a$	0.7707210	$a$	0.77052
$e$	0.3476948	$e$	0.34815
$i$	7.19896	$i$	7.216
$\omega$	7.12054	$\omega$	7.0696
$\Omega$	331.65079	$\Omega$	331.63365
$\mu$	1.45666018	$\mu$	1.45722



Obrázek 4.1: Jeden ze snímků planety 2008 CN1. Snímek byl pořízen 10s expozicí 0.57m zrcadlovým teleskopem na Kleti 17. února 2008.



Obrázek 4.2: Planetka 2008 CN1 v době pořízení snímku zobrazeného výše.

### 4.3.3 Planetka 2008 CK70

Planetka, patřící do skupiny Apollo, která byla v době pozorování M. Honkovou na Kleti také V.I., tedy měla nenulovou pravděpodobnost srážky se Zemí. Má pouze 30 metrů v průměru a objevena byla 9. února 2008. Těleso bylo sledováno M. Honkovou po tři noci, od 11. února 2008 do 14. února 2008. Provedené pozorování pomohlo upřesnit dráhu tělesa a snížit tak pravděpodobnost jeho srážky se Zemí a patří mezi celosvětově poslední pozorování tohoto tělesa.

Vstupní pozorování.

K08C70K	C2008	02	12.00641	10	26	59.79	-02	38	56.6	18.6	R	046
K08C70K	C2008	02	12.96653	10	36	02.91	-03	45	07.0			046
K08C70K	C2008	02	13.99094	11	03	32.13	-07	03	15.2			046

Väisälöva metoda.

První dvě pozorování byla použita jako vstup a vzdálenost k tělesu  $\rho_2$  byla znovu nastavována tak, aby předpověď pro čas třetího pozorování dobře souhlasila s pozorovanou polohou.

Výpočet bylo možno provést pouze s  $\rho_2 < 0.126$  AU, přičemž nejlépe vyhovovala vzdálenost  $\rho_2 = 0.0004$  AU. V každém případě šlo o těsný průlet tělesa v blízkosti Země. Väisälöva metoda byla použita k získání odhadu parametrů dráhy tělesa. Podle spočtené dráhy je možno usoudit, že může jít o těleso na dráze podobné, jako je dráha Země.

K08C70K	C2008	02	13.99090	11	03	47.62	-07	04	16.3			Předpověď
K08C70K	C2008	02	13.99094	11	03	32.13	-07	03	15.2			Pozorování

2008 CK70  
 Elementy - Väisäla  
 Ekvinokcium 2000  
 Epocha 2008 Feb 14.0 U.T.

$M_0$	361.0
$a$	0.9962
$e$	0.0086
$i$	0.1242
$\omega$	297.8
$\Omega$	325.5
$\mu$	0.9913

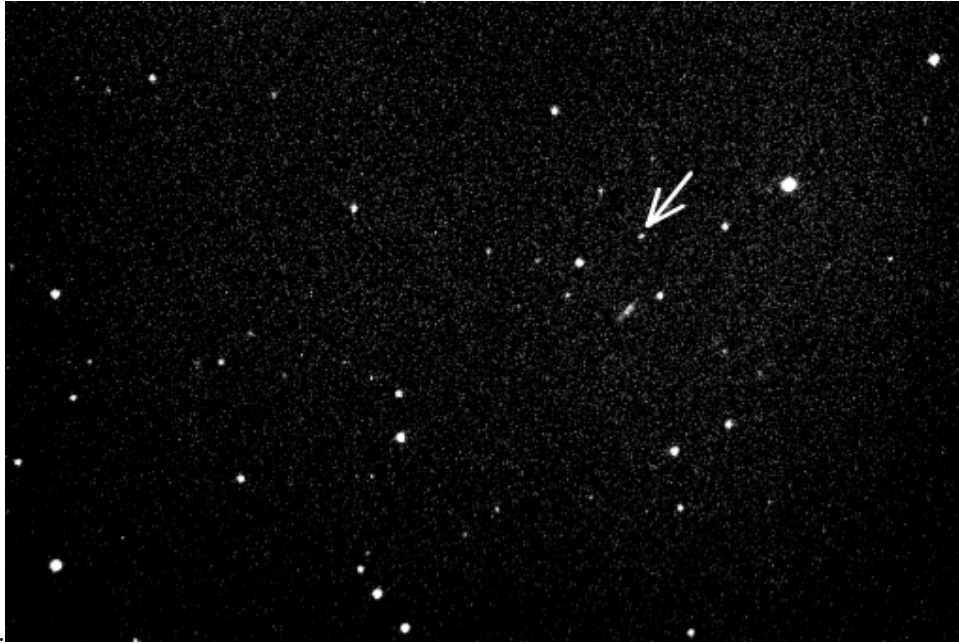
Gaussova metoda výpočtu dráhy.

Vstupem do programu byly tři výše uvedená pozorování. Přibližné parametry dráhy barycentra Země-Měsíc byly převzaty z [8]. Stejně jako v předcházejícím případě výpočet určil excentricitu  $e > 1$ , a proto byl zopakován s přesnější polohou Země získanou matematickým rozvojem. Parametry dráhy byly porovnány s drahou spočtenou JPL [8]. Střední anomálie  $M_0$  se liší znovu kvůli jiné epoše, jinak výsledky dobře souhlasí. JPL má navíc zabudován výpočet chyby dráhy, takže jsem uvedla jen platná místa. Oproti předcházejícímu tělesu je jich méně, protože těleso bylo sledováno pouze pět dní, což znemožňuje získat přesnější dráhu.

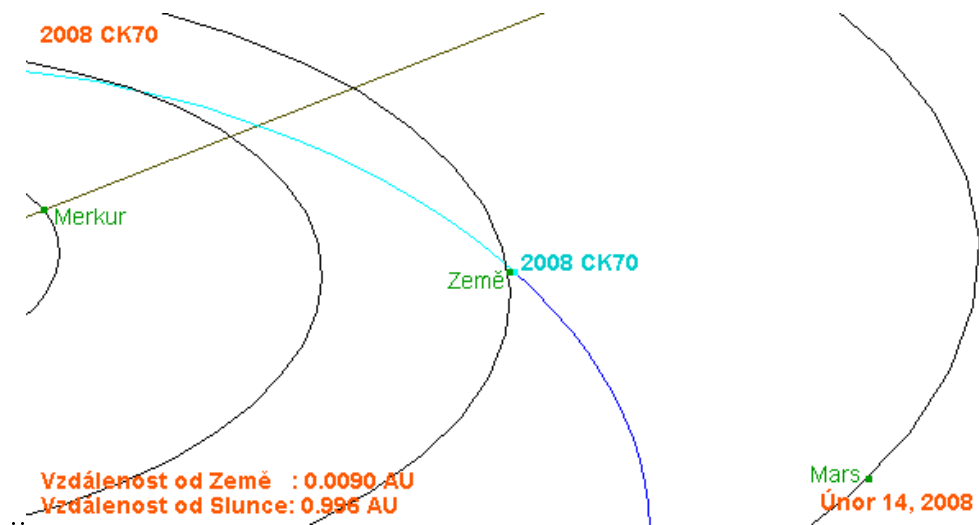
2008 CK70	2008 CK70
Elementy - Gaussova metoda	Elementy - JPL
Ekvinokcium 2000.0	Ekvinokcium 2000.0
Epocha 2008 Feb 04.0 U.T.	Epocha 2008 May 14.0 U.T.

$M_0$	301.00397	$M_0$	24.85
$a$	1.1148954	$a$	1.1028
$e$	0.4699740	$e$	0.4689
$i$	6.01352	$i$	6.06
$\omega$	104.68577	$\omega$	105.792
$\Omega$	145.83402	$\Omega$	145.8255
$\mu$	0.83724563	$\mu$	0.851





Obrázek 4.3: Jeden ze snímků planetky 2008 CK70. Snímek byl pořízen 10s expoziční 0.57m zrcadlovým teleskopem na Kleti 13. února 2008.



Obrázek 4.4: Planetka 2008 CK70 v době pořízení snímku zobrazeného výše.

# Kapitola 5

## Shrnutí

V rámci vypracování této práce byla autorkou samostatně prováděna pozorování s 0.57m dalekohledem na Observatoři Kletř, včetně výběru těles, určení efemerid a expozičního času a zpracování snímků. Výsledky byly odesílány do Minor Planet Center. Začátkem května 2008 proto patřil tento dalekohled mezi nejproduktivnější na světě v počtu pozic publikovaných v roce 2008 v Minor Planets Daily Orbit Circulars [11]. Celkem bylo získáno 785 pozic 91 malých těles sluneční soustavy. Seznam pozic těles se nalézá v dodatku A této práce. Mezi pozorovanými tělesy jich 58 patřilo mezi NEA, 18 mezi PHA a 5 jich mělo v době pozorování nenulovou pravděpodobnost srážky se Zemí - provedená pozorování pomohla zpřesnit dráhu a zmenšit známé riziko srážky. Přesná astrometrie jedné z pozorovaných planetek také umožnila zaměřit planetku radarem a provést radarové pozorování.

Pro účely této práce byl autorkou vytvořen program, umožňující počítat dráhy planetek metodou Väisäla a Gaussovou metodou, a základní výpis efemerid tak, jak tyto metody uvádí kapitola 3 této práce. Výpočet zahrnuje korekci o planetární aberaci. Vzhledem k nízké přesnosti použitých parametrů dráhy Země (barycentra Země-Měsíc) nezahrnuje paralaktickou korekci. Jelikož pozorování byla prováděna po krátkou dobu, nebylo nutné započítat také korekci o precesi a nutaci.

Program byl otestován na několika planetkách a výsledky byly porovnány s drahami určenými JPL [7]. Byl potvrzen závěr uvedený již v [3] o nevhodnosti metody Väisäla na určení definitivní dráhy. Přesto má tato metoda využití, a to na výpočet efemerid na nejbližší dny a týdny, následující po objevu

nového tělesa. Tímto väisälovská metoda umožňuje získat další pozorování pro určení přesnější dráhy planety Gaussovou metodou. Bylo také zjištěno, že výpočet dráhy Gaussovou metodou je nesmírně citlivý k přesnosti parametrů dráhy Země, vstupujících do výpočtu. Proto musel být na získání dostatečně přesné dráhy Země místo původních parametrů dráhy barycentra Země-Měsíc použit matematický rozvoj - pak byly výsledky přesností srovnatelné s JPL [7].

Další etapou by bylo aplikování katalogu Dynamic Ephemeris 405 (DE405) nebo DE406 a Lunar Ephemeris 405 (LE405) nebo LE406 pro získání přesnějších parametrů dráhy Země. Pak by bylo dosaženo dostatečné přesnosti, aby mělo smysl aplikovat topocentrickou korekci, a zvýšila by se tak přesnost celého výpočtu. Kromě toho by umožnily počítat dráhu podstatně spolehlivěji především pro blízkozemní tělesa. Následně by bylo možné vytvořit program pro počítání poruchových drah, tedy v podstatě řešení problému  $n$  těles numerickou metodou. Vzhledem k rozsahu této práce nebylo však možno se problémem poruchových drah zabírat.

# Literatura

- [1] A. D. Dubyago: *The Determination of Orbits*, The Macmillan Company, New York, 1961.
- [2] B.A. Gould: *On the Symbolic Notation of the Asteroids* 1852, *Astron. J.*, 2, 80.
- [3] M. Honková: *Následná astrometrie blízkozemních planetek a její vliv na přesnost určení dráhových elementů a efemerid*, Brno, 2006.
- [4] Z. Mikulášek: *Obecná astronomie - skripta k předmětu*, MU Brno.
- [5] <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>
- [6] J. Tichá, M. Tichý, M. Kočer: *KLENOT - KLET OBSERVATORY NEAR EARTH AND OTHER UNUSUAL OBJECTS OBSERVATIONS TEAM AND TELESCOPE* , ESA Proceedings, ESA-SP-500, 2002.
- [7] <http://neo.jpl.nasa.gov/orbits/>
- [8] <http://ssd.jpl.nasa.gov/>
- [9] <http://www.planetky.cz/>
- [10] J.L. Hilton *When did the asteroids become minor planets?*, <http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/minorplanets.php>
- [11] <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>

# Dodatek A

## Soupis provedených pozorování

Pozorování planetek a komet provedená M. Honkovou na Kleti v době vypracovávání práce

K08H03R	C2008	05	08.86978	12	53	45.41	-09	11	50.1	046
K08H03R	C2008	05	08.87060	12	53	44.37	-09	11	39.3	046
K08H03R	C2008	05	08.87119	12	53	43.99	-09	11	36.3	046
K08H03R	C2008	05	08.87169	12	53	43.31	-09	11	24.4	046
K08H03R	C2008	05	08.87228	12	53	42.50	-09	11	15.5	046
K08H03R	C2008	05	08.87295	12	53	41.76	-09	11	05.9	046
K08H03R	C2008	05	08.87391	12	53	40.77	-09	10	53.8	046
K08H03S	C2008	05	08.88068	11	38	18.30	-03	05	25.4	046
K08H03S	C2008	05	08.88164	11	38	18.79	-03	05	18.5	046
K08H03S	C2008	05	08.88257	11	38	19.13	-03	05	12.2	046
K08H03S	C2008	05	08.88311	11	38	19.26	-03	05	07.7	046
K08H03S	C2008	05	08.88378	11	38	19.60	-03	05	03.9	046
K08H03S	C2008	05	08.88542	11	38	20.28	-03	04	53.2	046
K08H03S	C2008	05	08.88594	11	38	20.53	-03	04	49.0	046
K08H01W	C2008	05	09.02247	17	00	46.41	+45	21	03.4	046
K08H01W	C2008	05	09.02337	17	00	46.31	+45	21	19.6	046
K08H01W	C2008	05	09.02382	17	00	46.28	+45	21	27.7	046
K08H01W	C2008	05	09.02422	17	00	46.28	+45	21	35.1	046
K08H01W	C2008	05	09.02465	17	00	46.26	+45	21	42.7	046
K08H01W	C2008	05	09.02520	17	00	46.20	+45	21	52.6	046
K08H01W	C2008	05	09.02560	17	00	46.17	+45	21	59.7	046
K08H01W	C2008	05	09.02600	17	00	46.14	+45	22	07.0	046
K08H04V	C2008	05	08.92325	15	02	29.18	-12	27	47.2	046
CK02V94Q	C2008	05	08.99233	14	04	08.13	+15	50	38.5	046
CK02V94Q	C2008	05	08.99427	14	04	08.12	+15	50	39.1	046

CK02V94Q	C2008	05	08.99507	14	04	08.14	+15	50	38.1	046
CK02V94Q	C2008	05	08.99605	14	04	08.07	+15	50	39.1	046
CK02V94Q	C2008	05	08.99683	14	04	08.07	+15	50	38.9	046
CK02V94Q	C2008	05	08.99759	14	04	07.94	+15	50	38.4	046
CK02V94Q	C2008	05	08.99858	14	04	08.05	+15	50	38.4	046
CK05L030	C2008	05	08.97897	16	22	45.02	+19	32	36.6	046
CK05L030	C2008	05	08.98110	16	22	44.88	+19	32	37.8	046
CK05L030	C2008	05	08.98163	16	22	44.84	+19	32	37.7	046
CK05L030	C2008	05	08.98204	16	22	44.81	+19	32	38.4	046
CK05L030	C2008	05	08.98245	16	22	44.76	+19	32	38.5	046
CK05L030	C2008	05	08.98287	16	22	44.73	+19	32	38.2	046
CK05L030	C2008	05	08.98396	16	22	44.66	+19	32	39.0	046
CK08H010	C2008	05	09.01029	14	10	23.54	+75	26	41.4	046
CK08H010	C2008	05	09.01174	14	10	23.12	+75	26	39.8	046
CK08H010	C2008	05	09.01269	14	10	22.93	+75	26	37.8	046
CK08H010	C2008	05	09.01363	14	10	22.48	+75	26	37.2	046
CK08H010	C2008	05	09.01473	14	10	22.39	+75	26	35.0	046
CK08H010	C2008	05	09.01564	14	10	21.75	+75	26	34.7	046
CK08H010	C2008	05	09.01654	14	10	21.47	+75	26	32.8	046
PK08G020	C2008	05	08.97032	14	48	53.59	+12	35	03.8	046
PK08G020	C2008	05	08.97144	14	48	53.53	+12	35	03.0	046
PK08G020	C2008	05	08.97339	14	48	53.51	+12	35	03.3	046
PK08G020	C2008	05	08.97431	14	48	53.38	+12	35	02.9	046
PK08G020	C2008	05	08.97527	14	48	53.37	+12	35	02.1	046
02998	C2008	05	08.89728	15	02	33.84	-12	25	49.7	046
02998	C2008	05	08.90034	15	02	33.75	-12	25	49.2	046
02998	C2008	05	08.90140	15	02	33.62	-12	25	48.7	046
02998	C2008	05	08.91245	15	02	32.98	-12	25	45.7	046
02998	C2008	05	08.91566	15	02	32.81	-12	25	43.8	046
02998	C2008	05	08.91714	15	02	32.70	-12	25	43.3	046
02998	C2008	05	08.91801	15	02	32.67	-12	25	43.9	046
02998	C2008	05	08.91887	15	02	32.62	-12	25	44.0	046
02998	C2008	05	08.91969	15	02	32.54	-12	25	42.8	046
02998	C2008	05	08.92054	15	02	32.46	-12	25	43.1	046
02998	C2008	05	08.92161	15	02	32.45	-12	25	43.4	046
02998	C2008	05	08.92325	15	02	32.36	-12	25	43.1	046
K08E00L	C2008	03	08.93101	10	04	26.32	-02	14	56.4	046
K08E00L	C2008	03	08.93155	10	04	25.81	-02	14	55.4	046
K08E00L	C2008	03	10.02206	09	45	39.78	-01	23	09.7	046
K08E00L	C2008	03	10.02389	09	45	37.62	-01	23	04.1	046
K08E00L	C2008	03	10.02457	09	45	36.83	-01	22	59.9	046
K08E00L	C2008	03	10.02502	09	45	36.35	-01	23	00.2	046
K08E00L	C2008	03	10.02544	09	45	35.83	-01	22	58.9	046
K08E00L	C2008	03	10.02589	09	45	35.33	-01	22	58.1	046
K08E00L	C2008	03	10.02745	09	45	33.44	-01	22	53.2	046
K08E00L	C2008	03	10.02788	09	45	32.96	-01	22	51.2	046

K08E00L	C2008	03	10.02829	09	45	32.64	-01	22	50.9	046
K08E00L	C2008	03	10.02876	09	45	31.91	-01	22	48.3	046
K08E00L	C2008	03	10.02917	09	45	31.44	-01	22	47.2	046
K08E00L	C2008	03	10.02978	09	45	30.73	-01	22	45.1	046
K08E00L	C2008	03	10.03031	09	45	30.25	-01	22	43.8	046
K08E00L	C2008	03	10.03106	09	45	29.04	-01	22	41.0	046
K08E00K	C2008	03	10.04935	09	55	11.16	+05	20	17.7	046
K08E00K	C2008	03	10.05020	09	55	10.61	+05	20	05.4	046
K08E00K	C2008	03	10.05073	09	55	10.32	+05	19	55.7	046
K08E00K	C2008	03	10.05127	09	55	10.01	+05	19	48.8	046
K08E00K	C2008	03	10.05175	09	55	09.73	+05	19	40.2	046
K08E00K	C2008	03	10.05222	09	55	09.36	+05	19	33.1	046
K08E00K	C2008	03	10.05266	09	55	08.99	+05	19	26.7	046
K08E00K	C2008	03	10.05310	09	55	08.80	+05	19	19.7	046
K08E00K	C2008	03	10.05355	09	55	08.42	+05	19	14.0	046
K08E00K	C2008	03	10.05405	09	55	08.14	+05	19	04.8	046
K08E00K	C2008	03	10.05453	09	55	07.86	+05	18	56.6	046
K08E00K	C2008	03	10.05608	09	55	06.89	+05	18	34.2	046
K08C22D	C2008	03	10.06692	11	35	04.46	+45	48	51.6	046
K08C22D	C2008	03	10.06825	11	35	05.01	+45	48	53.8	046
K08C22D	C2008	03	10.06916	11	35	05.61	+45	48	55.9	046
K08C22D	C2008	03	10.07005	11	35	06.05	+45	48	57.4	046
K08C22D	C2008	03	10.07093	11	35	06.36	+45	48	59.8	046
K08C22D	C2008	03	10.07183	11	35	06.77	+45	49	01.3	046
K08C22D	C2008	03	10.07278	11	35	07.27	+45	49	03.4	046
K08D05K	C2008	03	10.08359	12	30	27.89	-06	51	30.2	046
K08D05K	C2008	03	10.08501	12	30	27.35	-06	51	27.4	046
K08D05K	C2008	03	10.08571	12	30	27.05	-06	51	26.4	046
K08D05K	C2008	03	10.08639	12	30	26.83	-06	51	25.5	046
K08D05K	C2008	03	10.08704	12	30	26.45	-06	51	25.5	046
K08D05K	C2008	03	10.08770	12	30	26.22	-06	51	23.8	046
K08D05K	C2008	03	10.08836	12	30	25.94	-06	51	23.1	046
K08D05K	C2008	03	10.08957	12	30	25.53	-06	51	20.7	046
K08E08D	C2008	03	09.98514	09	56	31.10	+02	36	52.7	046
K08E08D	C2008	03	09.98545	09	56	35.49	+02	37	11.7	046
K08E08D	rC2008	03	09.99188	09	58	07.26	+02	43	53.3	046
K08E08D	C2008	03	09.99212	09	58	10.82	+02	44	09.2	046
K08E08D	C2008	03	09.99237	09	58	14.48	+02	44	25.0	046
K08E08D	C2008	03	09.99263	09	58	18.17	+02	44	40.8	046
K08E08D	rC2008	03	09.99296	09	58	22.88	+02	45	01.8	046
K08E08D	rC2008	03	09.99333	09	58	28.19	+02	45	24.5	046
K08E08D	C2008	03	09.99363	09	58	32.51	+02	45	44.4	046
K08E08D	rC2008	03	09.99428	09	58	41.78	+02	46	24.8	046
K08E08D	rC2008	03	09.99450	09	58	45.03	+02	46	38.5	046
K08E08D	rC2008	03	09.99472	09	58	48.17	+02	46	52.4	046
K08E08D	rC2008	03	09.99492	09	58	51.15	+02	47	05.2	046

K08E08D	rC2008	03	09.99517	09	58	54.66	+02	47	20.7	046
K08E08D	rC2008	03	09.99540	09	58	58.02	+02	47	35.2	046
K08E08D	rC2008	03	09.99565	09	59	01.60	+02	47	51.5	046
K08E08D	rC2008	03	09.99586	09	59	04.67	+02	48	04.3	046
0124P	C2008	03	09.91998	09	39	40.11	+50	54	18.8	046
0124P	C2008	03	09.92190	09	39	39.89	+50	54	14.3	046
0124P	C2008	03	09.92338	09	39	39.68	+50	54	11.0	046
0124P	C2008	03	09.92479	09	39	39.51	+50	54	07.6	046
0124P	C2008	03	09.93035	09	39	38.81	+50	53	54.8	046
0124P	C2008	03	09.93204	09	39	38.63	+50	53	51.0	046
0124P	C2008	03	09.93396	09	39	38.38	+50	53	46.5	046
0124P	C2008	03	09.93568	09	39	38.15	+50	53	42.6	046
0124P	C2008	03	09.93772	09	39	37.91	+50	53	37.6	046
CK07W010	C2008	03	09.96278	12	41	55.16	-14	15	13.1	046
CK07W010	C2008	03	09.96408	12	41	55.07	-14	15	13.6	046
CK07W010	C2008	03	09.96533	12	41	55.05	-14	15	14.4	046
CK07W010	C2008	03	09.96754	12	41	54.94	-14	15	15.7	046
CK07W010	C2008	03	09.96893	12	41	54.93	-14	15	16.5	046
CK07W010	C2008	03	09.96965	12	41	54.87	-14	15	16.8	046
K06D62U	C2008	03	09.84857	09	05	11.24	-01	41	40.2	046
K06D62U	C2008	03	09.84937	09	05	11.18	-01	41	39.8	046
K06D62U	C2008	03	09.84996	09	05	11.20	-01	41	39.4	046
K06D62U	C2008	03	09.85054	09	05	11.17	-01	41	39.2	046
K06D62U	C2008	03	09.85114	09	05	11.16	-01	41	38.5	046
K07R19X	C2008	03	09.86347	08	31	00.79	+54	57	01.6	046
K07R19X	C2008	03	09.86457	08	31	00.81	+54	56	50.1	046
K07R19X	C2008	03	09.86534	08	31	00.79	+54	56	42.8	046
K07R19X	C2008	03	09.86587	08	31	00.92	+54	56	36.7	046
K07R19X	C2008	03	09.86641	08	31	00.92	+54	56	31.9	046
K07R19X	C2008	03	09.86697	08	31	00.95	+54	56	27.3	046
K07R19X	C2008	03	09.86757	08	31	00.96	+54	56	19.8	046
01620	C2008	03	09.90946	08	34	44.12	+02	04	43.7	046
01620	C2008	03	09.91093	08	34	43.40	+02	04	36.4	046
01620	C2008	03	09.91144	08	34	43.15	+02	04	33.9	046
01620	C2008	03	09.90946	08	34	44.12	+02	04	43.7	046
01620	C2008	03	09.91093	08	34	43.40	+02	04	36.4	046
01620	C2008	03	09.91144	08	34	43.15	+02	04	33.9	046
01620	C2008	03	09.90946	08	34	44.12	+02	04	43.7	046
01620	C2008	03	09.91093	08	34	43.40	+02	04	36.4	046
01620	C2008	03	09.91144	08	34	43.15	+02	04	33.9	046
01620	C2008	03	09.90946	08	34	44.12	+02	04	43.7	046
01620	C2008	03	09.91093	08	34	43.40	+02	04	36.4	046
01620	C2008	03	09.91144	08	34	43.15	+02	04	33.9	046
01620	C2008	03	09.90946	08	34	44.12	+02	04	43.7	046
01620	C2008	03	09.91093	08	34	43.40	+02	04	36.4	046
01620	C2008	03	09.91144	08	34	43.15	+02	04	33.9	046



8E2FB55	C2008	03	09.88215	08	57	54.70	+40	55	47.6	046
8E2FB55	C2008	03	09.88368	08	57	54.65	+40	55	45.9	046
8E2FB55	C2008	03	09.88500	08	57	54.64	+40	55	45.6	046
8E2FB55	C2008	03	09.88691	08	57	54.49	+40	55	42.6	046
8E2FB55	C2008	03	09.88818	08	57	54.37	+40	55	40.1	046
8E2FB55	C2008	03	09.88943	08	57	54.30	+40	55	39.7	046
8E2FB55	C2008	03	09.89093	08	57	54.23	+40	55	38.3	046
8E2FB55	C2008	03	09.89258	08	57	54.03	+40	55	34.4	046
K08E00L	C2008	03	08.94494	10	04	13.10	-02	14	22.0	046
K08E00L	C2008	03	08.94557	10	04	12.46	-02	14	20.8	046
K08E00L	C2008	03	08.94619	10	04	11.92	-02	14	18.9	046
K08E00L	C2008	03	08.94670	10	04	11.43	-02	14	17.6	046
K08E00L	C2008	03	08.94724	10	04	10.90	-02	14	16.6	046
K08E00L	C2008	03	08.94775	10	04	10.39	-02	14	14.3	046
K08E00L	C2008	03	08.94828	10	04	09.92	-02	14	13.0	046
K08D00J	C2008	03	08.88281	09	24	46.54	+04	20	12.6	046
K08D00J	C2008	03	08.88426	09	24	46.68	+04	20	12.3	046
K08D00J	C2008	03	08.88541	09	24	46.81	+04	20	11.8	046
K08D00J	C2008	03	08.88765	09	24	47.11	+04	20	10.6	046
K08D00J	C2008	03	08.88894	09	24	47.25	+04	20	09.7	046
K08D00J	C2008	03	08.89008	09	24	47.41	+04	20	09.1	046
K08E01K	C2008	03	08.90333	09	46	44.08	+15	35	20.8	046
K08E01K	C2008	03	08.90435	09	46	44.10	+15	35	26.7	046
K08E01K	C2008	03	08.90528	09	46	44.13	+15	35	33.8	046
K08E01K	C2008	03	08.90608	09	46	44.19	+15	35	40.2	046
K08E01K	C2008	03	08.90686	09	46	44.21	+15	35	46.2	046
K08E01K	C2008	03	08.90769	09	46	44.23	+15	35	51.1	046
K08E01K	C2008	03	08.90854	09	46	44.20	+15	35	58.6	046
BJ19400	C2008	03	08.91521	09	42	23.77	+29	35	20.2	046
BJ19400	C2008	03	08.91752	09	42	23.43	+29	35	37.3	046
BJ19400	C2008	03	08.92061	09	42	22.70	+29	36	05.2	046
BJ19400	C2008	03	08.92147	09	42	22.56	+29	36	07.3	046
BJ19377	C2008	03	08.86367	07	32	50.28	-07	23	35.5	046
BJ19377	C2008	03	08.86415	07	32	51.81	-07	23	28.7	046
BJ19377	C2008	03	08.86448	07	32	52.93	-07	23	24.2	046
BJ19377	C2008	03	08.86482	07	32	54.03	-07	23	19.7	046
BJ19377	C2008	03	08.86516	07	32	55.08	-07	23	14.5	046
BJ19377	C2008	03	08.86547	07	32	56.12	-07	23	10.5	046
BJ19377	C2008	03	08.86578	07	32	57.16	-07	23	06.2	046
K08CB6R	C2008	02	17.05040	11	36	30.49	+34	27	08.2	046
K08CB6R	C2008	02	17.05122	11	36	30.07	+34	27	01.4	046
K08CB6R	C2008	02	17.05179	11	36	29.74	+34	26	57.7	046
K08CB6R	C2008	02	17.05237	11	36	29.46	+34	26	51.8	046
K08CB6R	C2008	02	17.05298	11	36	29.14	+34	26	46.6	046
K08CB6R	C2008	02	17.05358	11	36	28.83	+34	26	41.4	046
K08CB6R	C2008	02	17.05416	11	36	28.50	+34	26	37.4	046

15.5 R

K08C01L	C2008	02	17.06074	14	13	24.53	+32	57	32.5	046
K08C01L	C2008	02	17.06155	14	13	24.21	+32	57	31.2	046
K08C01L	C2008	02	17.06233	14	13	23.98	+32	57	29.4	046
K08C01L	C2008	02	17.06317	14	13	23.63	+32	57	28.0	046
K08C01L	C2008	02	17.06380	14	13	23.41	+32	57	26.4	046
K08C01L	C2008	02	17.06450	14	13	23.13	+32	57	24.9	046
K08C01L	C2008	02	17.06516	14	13	22.87	+32	57	24.0	046
K08C22D	C2008	02	17.01830	08	48	16.90	+12	35	21.1	046
K08C22D	C2008	02	17.01895	08	48	17.00	+12	35	26.5	046
K08C22D	C2008	02	17.01961	08	48	17.28	+12	35	29.8	046
K08C22D	C2008	02	17.02029	08	48	17.46	+12	35	34.2	046
K08C22D	C2008	02	17.02094	08	48	17.69	+12	35	39.4	046
K08C22D	C2008	02	17.02162	08	48	17.81	+12	35	43.1	046
K08C06C	C2008	02	17.02939	10	15	43.51	+12	22	02.1	046
K08C06C	C2008	02	17.03017	10	15	43.18	+12	22	07.3	046
K08C06C	C2008	02	17.03077	10	15	42.86	+12	22	10.2	046
K08C06C	C2008	02	17.03135	10	15	42.63	+12	22	13.5	046
K08C06C	C2008	02	17.03194	10	15	42.30	+12	22	17.1	046
K08C06C	C2008	02	17.03251	10	15	41.97	+12	22	20.6	046
K08C06C	C2008	02	17.03307	10	15	41.68	+12	22	24.5	046
K08C01N	C2008	02	17.03728	11	19	40.88	+14	59	49.4	046
K08C01N	C2008	02	17.03795	11	19	39.95	+14	59	49.6	046
K08C01N	C2008	02	17.03834	11	19	39.38	+14	59	49.1	046
K08C01N	C2008	02	17.03875	11	19	38.80	+14	59	49.1	046
K08C01N	C2008	02	17.03916	11	19	38.23	+14	59	50.3	046
K08C01N	C2008	02	17.03956	11	19	37.67	+14	59	49.8	046
K08C01N	C2008	02	17.03997	11	19	37.10	+14	59	49.7	046
K08A04F	C2008	02	16.99944	09	20	46.75	+39	07	45.2	046
K08A04F	C2008	02	17.00050	09	20	46.70	+39	07	44.9	046
K08A04F	C2008	02	17.00138	09	20	46.70	+39	07	44.8	046
K08A04F	C2008	02	17.00322	09	20	46.48	+39	07	44.8	046
K08A04F	C2008	02	17.00509	09	20	46.34	+39	07	43.1	046
J89A00Z	C2008	02	09.80277	06	09	24.31	+11	59	51.0	046
J89A00Z	C2008	02	09.80383	06	09	24.56	+11	59	49.7	046
J89A00Z	C2008	02	09.80778	06	09	25.36	+11	59	44.3	046
J89A00Z	C2008	02	09.80866	06	09	25.66	+11	59	43.9	046
J89A00Z	C2008	02	09.80949	06	09	25.75	+11	59	42.6	046
J89A00Z	C2008	02	09.81022	06	09	25.92	+11	59	41.9	046
K05B02E	C2008	02	10.02417	11	13	55.65	+21	00	49.5	046
K05B02E	C2008	02	10.02524	11	13	55.62	+21	00	50.8	046
K05B02E	C2008	02	10.02596	11	13	55.66	+21	00	52.3	046
K05B02E	C2008	02	10.02669	11	13	55.68	+21	00	53.3	046
K05B02E	C2008	02	10.02749	11	13	55.62	+21	00	54.1	046
K05B02E	C2008	02	10.02823	11	13	55.65	+21	00	55.1	046
K05T45U	C2008	02	09.81731	06	41	57.08	+45	19	12.6	046
K05T45U	C2008	02	09.81887	06	41	56.73	+45	19	20.7	046

K05T45U	C2008	02	09.81948	06	41	56.60	+45	19	23.8	046
K05T45U	C2008	02	09.82013	06	41	56.44	+45	19	27.1	046
K05T45U	C2008	02	09.82082	06	41	56.28	+45	19	30.8	046
K07T24U	C2008	02	09.95903	12	09	29.20	+26	33	06.2	046
K07T24U	C2008	02	09.95997	12	09	29.18	+26	33	05.4	046
K07T24U	C2008	02	09.96058	12	09	29.16	+26	33	04.9	046
K07T24U	C2008	02	09.96119	12	09	29.13	+26	33	04.2	046
K07T24U	C2008	02	09.96186	12	09	29.11	+26	33	03.7	046
K07T24U	C2008	02	09.96271	12	09	29.08	+26	33	03.0	046
K07Y00K	C2008	02	09.90463	10	10	21.93	+26	14	37.3	046
K07Y00K	C2008	02	09.90588	10	10	21.85	+26	14	40.3	046
K07Y00K	C2008	02	09.90682	10	10	21.77	+26	14	42.4	046
K07Y00K	C2008	02	09.90753	10	10	21.70	+26	14	44.2	046
K07Y00K	C2008	02	09.90828	10	10	21.67	+26	14	46.5	046
K08A00E	C2008	02	09.95278	12	06	38.75	+19	27	01.4	046
K08A00E	C2008	02	09.95378	12	06	38.96	+19	27	05.9	046
K08A00E	C2008	02	09.95439	12	06	39.06	+19	27	08.6	046
K08A00E	C2008	02	09.95503	12	06	39.19	+19	27	11.3	046
K08A00E	C2008	02	09.95565	12	06	39.31	+19	27	14.1	046
K08A04F	C2008	02	09.89301	09	31	34.34	+39	12	25.7	046
K08A04F	C2008	02	09.89422	09	31	34.20	+39	12	26.2	046
K08A04F	C2008	02	09.89523	09	31	34.08	+39	12	25.9	046
K08A04F	C2008	02	09.89606	09	31	33.96	+39	12	25.8	046
K08A04F	C2008	02	09.89683	09	31	33.89	+39	12	26.5	046
K08A04F	C2008	02	09.89757	09	31	33.80	+39	12	26.6	046
K08B15D	C2008	02	09.87242	08	16	14.18	+55	46	55.2	046
K08B15D	C2008	02	09.87302	08	16	13.95	+55	47	00.7	046
K08B15D	C2008	02	09.87393	08	16	13.57	+55	47	11.6	046
K08B15D	C2008	02	09.87444	08	16	13.46	+55	47	17.6	046
K08B15D	C2008	02	09.87490	08	16	13.16	+55	47	22.0	046
K08B15D	C2008	02	09.87490	08	16	13.16	+55	47	22.0	046
K08C00P	C2008	02	09.83972	09	14	46.20	+16	10	24.3	046
K08C00P	C2008	02	09.84026	09	14	46.36	+16	10	33.9	046
K08C00P	C2008	02	09.84098	09	14	46.42	+16	10	46.1	046
K08C00P	C2008	02	09.84142	09	14	46.50	+16	10	54.0	046
K08C00P	C2008	02	09.84187	09	14	46.57	+16	11	01.0	046
K08C01N	C2008	02	09.97127	13	29	13.91	+12	35	41.8	046
K08C01N	C2008	02	09.97201	13	29	13.32	+12	35	43.2	046
K08C01N	C2008	02	09.97248	13	29	12.93	+12	35	44.1	046
K08C01N	C2008	02	09.97295	13	29	12.56	+12	35	44.8	046
K08C01N	C2008	02	09.97341	13	29	12.18	+12	35	45.6	046
K02C26F	C2008	02	10.01435	11	15	25.38	+25	01	29.6	046
K02C26F	C2008	02	10.01544	11	15	25.16	+25	01	28.9	046
K02C26F	C2008	02	10.01628	11	15	25.04	+25	01	28.6	046
K02C26F	C2008	02	10.01715	11	15	24.96	+25	01	27.7	046
K02C26F	C2008	02	10.01809	11	15	24.77	+25	01	28.6	046

K02C26F	C2008	02	10.01899	11	15	24.58	+25	01	27.7	046
K02C26F	C2008	02	10.01985	11	15	24.51	+25	01	27.3	046
K02C26F	C2008	02	10.02068	11	15	24.33	+25	01	27.2	046
K03E16E	C2008	02	10.00514	11	16	09.64	+05	40	30.4	046
K03E16E	C2008	02	10.00615	11	16	09.33	+05	40	32.3	046
K03E16E	C2008	02	10.00689	11	16	09.14	+05	40	33.6	046
K03E16E	C2008	02	10.00763	11	16	08.92	+05	40	34.7	046
K03E16E	C2008	02	10.00838	11	16	08.73	+05	40	36.1	046
K03E16E	C2008	02	10.00912	11	16	08.47	+05	40	38.3	046
K08C00H	C2008	02	09.98900	13	43	17.08	+24	31	55.5	046
K08C00H	C2008	02	09.98995	13	43	16.72	+24	32	01.2	046
K08C00H	C2008	02	09.99058	13	43	16.56	+24	32	05.7	046
K08C00H	C2008	02	09.99123	13	43	16.36	+24	32	09.0	046
K08C00H	C2008	02	09.99189	13	43	16.13	+24	32	13.0	046
K08C20L	C2008	02	09.91584	11	05	10.28	+14	44	15.7	046
K08C20L	C2008	02	09.91640	11	05	08.49	+14	44	03.7	046
K08C20L	C2008	02	09.91694	11	05	06.89	+14	43	52.0	046
K08C20L	C2008	02	09.91737	11	05	05.46	+14	43	43.1	046
K08C20L	C2008	02	09.91784	11	05	03.94	+14	43	32.8	046
K08C20L	C2008	02	09.91823	11	05	02.71	+14	43	24.2	046
K08C20L	C2008	02	09.91872	11	05	01.17	+14	43	14.5	046
K08C20L	C2008	02	09.91913	11	04	59.87	+14	43	05.6	046
0029P	C2008	02	13.04144	05	48	09.22	+29	46	58.1	046
0029P	C2008	02	13.04310	05	48	09.16	+29	46	58.0	046
0029P	C2008	02	13.04397	05	48	09.08	+29	46	58.7	046
0029P	C2008	02	13.04480	05	48	09.05	+29	46	57.8	046
0029P	C2008	02	13.04436	05	48	09.24	+29	46	58.2	046
0065P	C2008	02	13.05965	08	26	06.30	+30	52	25.1	046
0065P	C2008	02	13.06128	08	26	06.19	+30	52	25.0	046
0065P	C2008	02	13.06262	08	26	06.13	+30	52	26.0	046
0065P	C2008	02	13.06326	08	26	06.11	+30	52	25.4	046
0065P	C2008	02	13.06400	08	26	06.08	+30	52	25.0	046
0065P	C2008	02	13.06514	08	26	06.08	+30	52	25.7	046
K08C01L	C2008	02	13.09361	14	34	04.03	+34	55	03.6	046
K08C01L	C2008	02	13.09459	14	34	03.76	+34	55	02.0	046
K08C01L	C2008	02	13.09536	14	34	03.55	+34	55	00.8	046
K08C01L	C2008	02	13.09612	14	34	03.35	+34	54	59.4	046
K08C01L	C2008	02	13.09686	14	34	03.13	+34	54	58.9	046
K08C01L	C2008	02	13.09766	14	34	02.89	+34	54	58.0	046
K08C01L	C2008	02	13.09844	14	34	02.68	+34	54	56.8	046
K08C70K	C2008	02	13.99094	11	03	32.13	-07	03	15.2	046
K08C70K	C2008	02	13.99186	11	03	34.80	-07	03	36.0	046
K08C70K	C2008	02	13.99231	11	03	36.14	-07	03	46.7	046
K08C70K	C2008	02	13.99292	11	03	37.84	-07	03	59.0	046
K08C70K	C2008	02	13.99337	11	03	39.21	-07	04	09.7	046
K08C70K	C2008	02	13.99373	11	03	40.19	-07	04	17.7	046

K08C70K	C2008	02	13.99407	11	03	41.17	-07	04	25.4	046
K08B16H	C2008	02	13.97637	10	05	43.09	+68	57	27.9	046
K08B16H	C2008	02	13.97703	10	05	43.50	+68	57	37.0	046
K08B16H	C2008	02	13.97769	10	05	43.64	+68	57	46.4	046
K08B16H	C2008	02	13.97834	10	05	44.09	+68	57	55.1	046
K08B16H	C2008	02	13.97904	10	05	44.20	+68	58	04.2	046
K08B16H	C2008	02	13.97971	10	05	44.52	+68	58	15.1	046
K06D62U	C2008	02	14.00292	11	24	17.71	-15	30	52.0	046
K06D62U	C2008	02	14.00374	11	24	16.25	-15	30	46.4	046
K06D62U	C2008	02	14.00411	11	24	15.58	-15	30	43.5	046
K06D62U	C2008	02	14.00453	11	24	14.81	-15	30	40.4	046
K06D62U	C2008	02	14.00499	11	24	14.02	-15	30	37.0	046
K06D62U	C2008	02	14.00539	11	24	13.30	-15	30	34.2	046
K06D62U	C2008	02	14.00591	11	24	12.38	-15	30	30.3	046
K08C01N	C2008	02	14.01094	12	23	50.71	+14	22	09.5	046
K08C01N	C2008	02	14.01152	12	23	50.00	+14	22	10.4	046
K08C01N	C2008	02	14.01190	12	23	49.54	+14	22	11.0	046
K08C01N	C2008	02	14.01229	12	23	49.06	+14	22	11.5	046
K08C01N	C2008	02	14.01269	12	23	48.58	+14	22	12.0	046
K08C01N	C2008	02	14.01308	12	23	48.12	+14	22	12.4	046
K08C01N	C2008	02	14.01347	12	23	47.64	+14	22	13.1	046
K08B15D	C2008	02	13.89388	07	46	22.07	+66	23	52.6	046
K08B15D	C2008	02	13.89480	07	46	21.56	+66	23	59.5	046
K08B15D	C2008	02	13.89552	07	46	21.19	+66	24	05.4	046
K08B15D	C2008	02	13.89618	07	46	20.67	+66	24	10.5	046
K08B15D	C2008	02	13.89720	07	46	20.20	+66	24	18.7	046
K08B15D	C2008	02	13.89795	07	46	19.79	+66	24	25.1	046
K08B15D	C2008	02	13.89859	07	46	19.39	+66	24	29.7	046
K08C22D	C2008	02	13.90759	08	33	33.08	+07	08	07.2	046
K08C22D	C2008	02	13.90872	08	33	33.35	+07	08	13.2	046
K08C22D	C2008	02	13.90935	08	33	33.52	+07	08	17.1	046
K08C22D	C2008	02	13.90997	08	33	33.64	+07	08	20.7	046
K08C22D	C2008	02	13.91061	08	33	33.73	+07	08	25.0	046
K08C22D	C2008	02	13.91120	08	33	33.95	+07	08	28.1	046
K08C22D	C2008	02	13.91182	08	33	34.09	+07	08	32.7	046
K08A04F	C2008	02	13.92177	09	24	48.92	+39	15	06.0	046
K08A04F	C2008	02	13.92274	09	24	48.84	+39	15	06.4	046
K08A04F	C2008	02	13.92367	09	24	48.73	+39	15	06.1	046
K08A04F	C2008	02	13.92456	09	24	48.66	+39	15	05.9	046
K08A04F	C2008	02	13.92545	09	24	48.59	+39	15	05.6	046
K08A04F	C2008	02	13.92633	09	24	48.49	+39	15	05.9	046
K08A04F	C2008	02	13.92722	09	24	48.38	+39	15	05.4	046
K06J25Y	C2008	02	13.93793	08	39	12.90	+68	20	54.5	046
K06J25Y	C2008	02	13.94024	08	39	12.52	+68	20	36.2	046
K06J25Y	C2008	02	13.94167	08	39	12.40	+68	20	26.1	046
K06J25Y	C2008	02	13.94237	08	39	12.48	+68	20	20.7	046

K06J25Y	C2008	02	13.94306	08	39	12.50	+68	20	16.0	046
K06J25Y	C2008	02	13.94306	08	39	12.50	+68	20	16.0	046
K08C00P	C2008	02	13.95567	09	32	57.66	+35	08	39.8	046
K08C00P	C2008	02	13.95848	09	32	58.29	+35	09	23.3	046
K08C00P	C2008	02	13.95916	09	32	58.41	+35	09	32.5	046
K08C00P	C2008	02	13.95979	09	32	58.60	+35	09	42.5	046
K08C00P	C2008	02	13.96047	09	32	58.71	+35	09	53.8	046
K08C00P	C2008	02	13.96111	09	32	58.87	+35	10	03.1	046
K08C00P	C2008	02	13.96177	09	32	59.11	+35	10	14.6	046
CK06S050	C2008	02	12.99972	07	37	40.23	+15	36	49.3	046
CK06S050	C2008	02	13.00071	07	37	40.23	+15	36	49.2	046
CK06S050	C2008	02	13.00111	07	37	40.22	+15	36	48.9	046
CK06S050	C2008	02	13.00154	07	37	40.21	+15	36	48.8	046
CK06S050	C2008	02	13.00197	07	37	40.22	+15	36	49.0	046
CK06S050	C2008	02	13.00240	07	37	40.21	+15	36	49.1	046
CK06S050	C2008	02	13.00284	07	37	40.23	+15	36	49.0	046
CK07B020	C2008	02	13.02362	12	50	01.93	+07	14	18.7	046
CK07B020	C2008	02	13.02464	12	50	01.93	+07	14	18.4	046
CK07B020	C2008	02	13.02521	12	50	01.93	+07	14	18.2	046
CK07B020	C2008	02	13.02576	12	50	01.93	+07	14	18.1	046
CK07B020	C2008	02	13.02646	12	50	01.91	+07	14	18.3	046
CK07B020	C2008	02	13.02701	12	50	01.89	+07	14	18.0	046
CK07B020	C2008	02	13.02757	12	50	01.88	+07	14	17.9	046
8C2197A	C2008	02	13.08233	12	07	03.54	+41	44	16.6	046
8C2197A	C2008	02	13.08384	12	07	02.93	+41	44	08.3	046
8C2197A	C2008	02	13.08459	12	07	02.60	+41	44	05.0	046
8C2197A	C2008	02	13.08542	12	07	02.23	+41	44	00.1	046
8C2197A	C2008	02	13.08625	12	07	01.86	+41	43	55.8	046
8C2197A	C2008	02	13.08701	12	07	01.53	+41	43	52.1	046
K08C70K	C2008	02	12.96435	10	36	01.46	-03	44	54.2	046
K08C70K	C2008	02	12.96527	10	36	02.08	-03	44	59.4	046
K08C70K	C2008	02	12.96586	10	36	02.49	-03	45	03.1	046
K08C70K	C2008	02	12.96653	10	36	02.91	-03	45	07.0	046
K08C70K	C2008	02	12.96721	10	36	03.45	-03	45	11.5	046
K08C70K	C2008	02	12.96774	10	36	03.83	-03	45	14.6	046
K08C70K	C2008	02	12.96830	10	36	04.19	-03	45	17.4	046
K08C01N	C2008	02	12.97868	12	42	58.15	+13	57	54.8	046
K08C01N	C2008	02	12.97941	12	42	57.35	+13	57	56.0	046
K08C01N	C2008	02	12.97985	12	42	56.87	+13	57	56.6	046
K08C01N	C2008	02	12.98032	12	42	56.35	+13	57	57.3	046
K08C01N	C2008	02	12.98079	12	42	55.84	+13	57	58.0	046
K08C22D	C2008	02	12.89431	08	29	17.36	+05	29	19.2	046
K08C22D	C2008	02	12.89664	08	29	17.85	+05	29	32.2	046
K08C22D	C2008	02	12.89769	08	29	18.09	+05	29	38.9	046
K08C22D	C2008	02	12.89829	08	29	18.19	+05	29	42.2	046
K08C22D	C2008	02	12.89891	08	29	18.31	+05	29	45.2	046

K08C22D	C2008	02	12.89955	08	29	18.50	+05	29	48.7	046
K08C22D	C2008	02	12.90086	08	29	18.73	+05	29	56.8	046
K08C22D	C2008	02	12.90017	08	29	18.56	+05	29	52.8	046
K08A04F	C2008	02	12.92519	09	26	19.26	+39	15	52.3	046
K08A04F	C2008	02	12.92625	09	26	19.14	+39	15	52.5	046
K08A04F	C2008	02	12.92690	09	26	19.09	+39	15	52.8	046
K08A04F	C2008	02	12.92753	09	26	19.00	+39	15	52.7	046
K08A04F	C2008	02	12.92819	09	26	18.91	+39	15	52.4	046
K08A04F	C2008	02	12.92980	09	26	18.77	+39	15	52.6	046
K08A04F	C2008	02	12.93045	09	26	18.70	+39	15	52.6	046
K08B15D	C2008	02	12.94314	07	54	23.33	+64	12	27.7	046
K08B15D	C2008	02	12.94409	07	54	22.70	+64	12	36.8	046
K08B15D	C2008	02	12.94562	07	54	21.94	+64	12	49.7	046
K08B15D	C2008	02	12.94634	07	54	21.54	+64	12	55.9	046
K08B15D	C2008	02	12.94703	07	54	21.39	+64	13	00.6	046
K08B15D	C2008	02	12.94780	07	54	20.81	+64	13	08.0	046
K08B15D	C2008	02	12.94845	07	54	20.54	+64	13	13.3	046
BI55989	C2008	02	12.90527	08	39	54.49	+17	44	41.0	046
BI55989	C2008	02	12.90690	08	39	55.58	+17	44	36.3	046
BI55989	C2008	02	12.90879	08	39	56.66	+17	44	30.4	046
BI55989	C2008	02	12.90937	08	39	57.02	+17	44	29.0	046
BI55989	C2008	02	12.91014	08	39	57.51	+17	44	27.0	046
BI55989	C2008	02	12.91087	08	39	58.02	+17	44	25.2	046
BI55989	C2008	02	12.91160	08	39	58.41	+17	44	22.9	046
K08C01N	C2008	02	12.02885	12	59	02.71	+13	33	05.8	046
K08C01N	C2008	02	12.02951	12	59	02.03	+13	33	06.9	046
K08C01N	C2008	02	12.02998	12	59	01.55	+13	33	07.8	046
K08C01N	C2008	02	12.03042	12	59	01.14	+13	33	08.7	046
K08C01N	C2008	02	12.03086	12	59	00.65	+13	33	09.4	046
K08C01N	C2008	02	12.03131	12	59	00.21	+13	33	10.0	046
K08C01N	C2008	02	12.03176	12	58	59.77	+13	33	11.1	046
K08C70K	C2008	02	12.00311	10	26	58.72	-02	38	46.2	046
K08C70K	C2008	02	12.00406	10	26	58.97	-02	38	49.1	046
K08C70K	C2008	02	12.00572	10	26	59.59	-02	38	54.2	046
K08C70K	C2008	02	12.00641	10	26	59.79	-02	38	56.6	046
K08C01L	C2008	02	12.07612	14	38	21.98	+35	18	19.8	046
K08C01L	C2008	02	12.07756	14	38	21.58	+35	18	17.3	046
K08C01L	C2008	02	12.07850	14	38	21.41	+35	18	16.4	046
K08C01L	C2008	02	12.08028	14	38	20.93	+35	18	14.6	046
K08C01L	C2008	02	12.08115	14	38	20.66	+35	18	13.1	046
K08C01L	C2008	02	12.08204	14	38	20.45	+35	18	12.4	046
K08C01L	C2008	02	12.08293	14	38	20.27	+35	18	10.9	046
8C2197A	C2008	02	12.01005	12	14	12.76	+43	11	19.7	046
8C2197A	C2008	02	12.01113	12	14	12.37	+43	11	15.3	046
8C2197A	C2008	02	12.01178	12	14	12.18	+43	11	12.2	046
8C2197A	C2008	02	12.01243	12	14	11.90	+43	11	09.5	046

8C2197A	C2008	02	12.01307	12	14	11.55	+43	11	06.1	046
K08A04F	C2008	02	11.94441	09	27	54.16	+39	15	46.5	046
K08A04F	C2008	02	11.94549	09	27	54.02	+39	15	46.6	046
K08A04F	C2008	02	11.94649	09	27	53.92	+39	15	46.7	046
K08A04F	C2008	02	11.94865	09	27	53.67	+39	15	46.6	046
K08A04F	C2008	02	11.94990	09	27	53.54	+39	15	46.7	046
K08A04F	C2008	02	11.95244	09	27	53.22	+39	15	47.1	046
CK08C010	C2008	02	11.90087	00	10	04.58	+61	21	42.7	046
CK08C010	C2008	02	11.90133	00	10	04.85	+61	21	42.5	046
CK08C010	C2008	02	11.90237	00	10	05.16	+61	21	42.4	046
CK08C010	C2008	02	11.90284	00	10	05.39	+61	21	42.3	046
CK08C010	C2008	02	11.90331	00	10	05.59	+61	21	41.7	046
CK08C010	C2008	02	11.90402	00	10	05.83	+61	21	41.5	046
CK08C010	C2008	02	11.90471	00	10	06.09	+61	21	40.9	046
K07Y01X	C2008	01	25.76968	01	36	35.19	+36	31	47.4	046
K07Y01X	C2008	01	25.77641	01	36	36.43	+36	31	48.5	046
K07Y01X	C2008	01	25.77740	01	36	36.53	+36	31	47.7	046
K07Y01X	C2008	01	25.78021	01	36	37.09	+36	31	46.4	046
J89A00Z	C2008	01	25.79325	04	45	02.04	+20	09	53.1	046
J89A00Z	C2008	01	25.79475	04	45	02.77	+20	09	48.3	046
J89A00Z	C2008	01	25.79534	04	45	03.06	+20	09	47.6	046
J89A00Z	C2008	01	25.79652	04	45	03.67	+20	09	43.7	046
J89A00Z	C2008	01	25.79776	04	45	04.28	+20	09	41.4	046
J89A00Z	C2008	01	25.79835	04	45	04.59	+20	09	39.2	046
J89A00Z	C2008	01	25.79903	04	45	04.96	+20	09	37.5	046
K05X01D	C2008	01	25.82190	04	50	33.93	+07	06	32.5	046
K05X01D	C2008	01	25.83009	04	50	34.88	+07	05	54.6	046
CK06W030	C2008	01	25.86888	03	37	04.96	+61	49	16.1	046
CK06W030	C2008	01	25.86972	03	37	04.95	+61	49	15.9	046
CK06W030	C2008	01	25.87029	03	37	04.84	+61	49	15.6	046
CK06W030	C2008	01	25.87123	03	37	04.78	+61	49	15.3	046
CK06W030	C2008	01	25.87175	03	37	04.71	+61	49	15.1	046
CK06W030	C2008	01	25.87228	03	37	04.71	+61	49	15.5	046
CK06W030	C2008	01	25.87282	03	37	04.63	+61	49	14.5	046
CK06S050	C2008	01	25.88561	07	43	00.79	+16	33	56.6	046
CK06S050	C2008	01	25.88664	07	43	00.74	+16	33	55.3	046
CK06S050	C2008	01	25.88910	07	43	00.68	+16	33	54.4	046
K07T24U	C2008	01	25.74372	00	30	10.82	-13	54	14.4	046
K07T24U	C2008	01	25.75194	00	30	11.80	-13	52	47.5	046
0008P	C2008	01	06.84292	01	55	53.38	+03	12	20.9	046
0008P	C2008	01	06.84344	01	55	53.52	+03	12	15.2	046
0008P	C2008	01	06.84417	01	55	53.62	+03	12	05.8	046
0008P	C2008	01	06.84558	01	55	53.86	+03	11	47.6	046
0008P	C2008	01	06.84637	01	55	54.00	+03	11	37.2	046
0008P	C2008	01	06.84795	01	55	54.27	+03	11	16.8	046
0008P	C2008	01	06.84832	01	55	54.33	+03	11	11.7	046



0017P	C2008	01	06.85774	02	59	57.45	+43	11	15.0	046
0017P	C2008	01	06.85845	02	59	57.49	+43	11	14.9	046
0017P	C2008	01	06.85910	02	59	57.51	+43	11	14.4	046
0017P	C2008	01	06.85975	02	59	57.51	+43	11	14.1	046
0017P	C2008	01	06.86052	02	59	57.50	+43	11	13.8	046
0017P	C2008	01	06.86130	02	59	57.57	+43	11	13.2	046
0017P	C2008	01	06.86260	02	59	57.53	+43	11	12.1	046
0017P	C2008	01	06.86328	02	59	57.57	+43	11	11.8	046
CK07W030	C2008	01	06.87793	00	44	18.52	+77	07	05.1	046
CK07W030	C2008	01	06.87906	00	44	18.14	+77	07	04.0	046
CK07W030	C2008	01	06.88072	00	44	17.71	+77	07	03.0	046
CK07W030	C2008	01	06.88343	00	44	16.75	+77	07	00.5	046
CK07W030	C2008	01	06.88424	00	44	16.27	+77	06	59.6	046
CK07W030	C2008	01	06.88572	00	44	15.62	+77	06	57.7	046
CK07W030	C2008	01	06.88654	00	44	15.50	+77	06	57.0	046
CK07W030	C2008	01	06.88728	00	44	15.21	+77	06	56.4	046
K05W56J	C2008	01	06.90155	06	29	13.52	+53	06	05.8	046
K05W56J	C2008	01	06.90209	06	29	12.52	+53	05	53.1	046
K05W56J	C2008	01	06.90245	06	29	11.83	+53	05	44.4	046
K05W56J	C2008	01	06.90315	06	29	10.54	+53	05	28.0	046
K05W56J	C2008	01	06.90350	06	29	09.84	+53	05	19.2	046
K05W56J	C2008	01	06.90388	06	29	09.14	+53	05	10.2	046
H0903	C2008	01	06.83088	01	59	11.24	+12	53	19.1	046
H0903	C2008	01	06.83243	01	59	10.76	+12	53	19.0	046
H0903	C2008	01	06.83330	01	59	10.53	+12	53	18.6	046
H0903	C2008	01	06.83412	01	59	10.39	+12	53	18.5	046
H0903	C2008	01	06.83497	01	59	10.08	+12	53	18.2	046
H0903	C2008	01	06.83572	01	59	09.86	+12	53	18.5	046
K07006S	C2007	11	05.77330	02	10	47.37	+13	07	59.5	046
K07006S	C2007	11	05.77413	02	10	47.33	+13	08	00.9	046
K07006S	C2007	11	05.77475	02	10	47.25	+13	08	02.5	046
K07006S	C2007	11	05.77535	02	10	47.25	+13	08	03.7	046
K07006S	C2007	11	05.77660	02	10	47.16	+13	08	05.8	046
K07006S	C2007	11	05.77722	02	10	47.13	+13	08	07.5	046
PK07S010	C2007	11	05.75986	00	23	41.54	-05	37	44.8	046
PK07S010	C2007	11	05.76123	00	23	41.52	-05	37	44.4	046
PK07S010	C2007	11	05.76213	00	23	41.51	-05	37	44.8	046
PK07S010	C2007	11	05.76314	00	23	41.52	-05	37	44.5	046
PK07S010	C2007	11	05.76402	00	23	41.52	-05	37	43.8	046
PK07S010	C2007	11	05.76589	00	23	41.54	-05	37	43.8	046
PK07S010	C2007	11	05.76678	00	23	41.43	-05	37	43.8	046
PJ98S010	C2007	11	05.81835	23	46	12.22	+02	45	59.7	046
PJ98S010	C2007	11	05.81974	23	46	12.20	+02	45	59.4	046
PJ98S010	C2007	11	05.82031	23	46	12.20	+02	45	59.7	046
0093P	C2007	11	05.74185	00	25	39.61	+24	58	57.3	046
0093P	C2007	11	05.74306	00	25	39.61	+24	58	57.7	046

0093P	C2007	11	05.74354	00	25	39.58	+24	58	57.7		046
0093P	C2007	11	05.74401	00	25	39.58	+24	58	57.6		046
0093P	C2007	11	05.74451	00	25	39.56	+24	58	57.9		046
K07T08G	C2007	10	10.87730	23	29	30.65	+18	08	34.7		046
K07T08G	C2007	10	10.88000	23	29	30.18	+18	08	37.5		046
K07T08G	C2007	10	10.88096	23	29	30.00	+18	08	39.0		046
K07T08G	C2007	10	10.88193	23	29	29.90	+18	08	39.7		046
K07T08G	C2007	10	10.88287	23	29	29.74	+18	08	40.4		046
K07T15G	C2007	10	10.88755	00	18	45.67	+23	26	15.2		046
K07T15G	C2007	10	10.88875	00	18	45.65	+23	26	16.1		046
K07T15G	C2007	10	10.88966	00	18	45.66	+23	26	17.0		046
K07T15G	C2007	10	10.89141	00	18	45.60	+23	26	17.6		046
K07T15G	C2007	10	10.89230	00	18	45.62	+23	26	17.4		046
CK07N030	C2007	10	10.79909	21	17	58.45	-15	19	08.5		046
CK07N030	C2007	10	10.80025	21	17	58.38	-15	19	08.5		046
CK07N030	C2007	10	10.80139	21	17	58.37	-15	19	09.0		046
CK07N030	C2007	10	10.80260	21	17	58.30	-15	19	08.7		046
CK06002F	C2007	10	10.77913	21	14	30.93	-07	48	58.7		046
CK06002F	C2007	10	10.78031	21	14	30.92	-07	48	58.9		046
CK06002F	C2007	10	10.78141	21	14	30.90	-07	48	58.4		046
CK06002F	C2007	10	10.78229	21	14	30.89	-07	48	58.3		046
CK06002F	C2007	10	10.78409	21	14	30.87	-07	48	58.4		046
K07L32R	C2007	10	08.96823	23	00	06.14	+31	37	57.1		046
K07L32R	C2007	10	08.96914	23	00	06.34	+31	37	56.6		046
K07L32R	C2007	10	08.97005	23	00	06.35	+31	37	55.2	17.0 R	046
K07L32R	C2007	10	08.97101	23	00	06.50	+31	37	54.0		046
K07L32R	C2007	10	08.97322	23	00	06.69	+31	37	52.4		046
K07L32R	C2007	10	08.97412	23	00	06.74	+31	37	51.4		046
K07L32R	C2007	10	08.97528	23	00	06.89	+31	37	50.2		046
K07P00R	C2007	10	08.93167	21	28	01.87	+06	39	08.5		046
K07P00R	C2007	10	08.93414	21	28	02.03	+06	39	10.6		046
K07P00R	C2007	10	08.93505	21	28	02.06	+06	39	11.0		046
K07P00R	C2007	10	08.93597	21	28	02.12	+06	39	11.2		046
K07S11G	C2007	10	08.89115	22	23	56.36	-09	24	17.4		046
K07S11G	C2007	10	08.89178	22	23	56.04	-09	24	24.2		046
K07S11G	C2007	10	08.89262	22	23	55.59	-09	24	34.8		046
K07S11G	C2007	10	08.89333	22	23	55.21	-09	24	43.0		046
K07S11G	C2007	10	08.89440	22	23	54.62	-09	24	56.2		046
K07S11G	C2007	10	08.89499	22	23	54.33	-09	25	02.6		046
7T4A171	C2007	10	09.76354	17	18	03.49	-09	52	04.2		046
7T4A171	C2007	10	09.76406	17	18	03.46	-09	52	05.7		046
7T4A171	C2007	10	09.76459	17	18	03.43	-09	52	06.6		046
7T4A171	C2007	10	09.76512	17	18	03.40	-09	52	08.0		046
7T4A171	C2007	10	09.76565	17	18	03.38	-09	52	09.6		046
7T4A171	C2007	10	09.76122	17	18	03.60	-09	51	58.0		046
7T4A171	C2007	10	09.76197	17	18	03.58	-09	52	00.1		046

7T4A171	C2007	10	09.76250	17	18	03.54	-09	52	01.9		046
7T4A171	C2007	10	09.76303	17	18	03.52	-09	52	02.9		046
N4108	C2007	08	18.93652	21	00	31.73	-21	16	25.6	17.1 R	046
N4108	C2007	08	18.93740	21	00	31.70	-21	16	25.9		046
N4108	C2007	08	18.93843	21	00	31.65	-21	16	26.2		046
N4109	C2007	08	18.98126	00	28	43.90	+26	02	05.6	18.5 R	046
N4109	C2007	08	18.98247	00	28	43.85	+26	02	05.6		046
N4109	C2007	08	18.98481	00	28	43.83	+26	02	03.1		046
N4109	C2007	08	18.98627	00	28	43.80	+26	02	04.2		046
K03Q33E	C2007	08	18.88836	20	50	46.03	-10	15	44.8		046
K03Q33E	C2007	08	18.88933	20	50	45.96	-10	15	44.3		046
K03Q33E	C2007	08	18.89020	20	50	45.87	-10	15	44.3		046
K03Q33E	C2007	08	18.89108	20	50	45.84	-10	15	43.6		046
K03Q33E	C2007	08	18.89196	20	50	45.77	-10	15	43.9		046
K03Q33E	C2007	08	18.89282	20	50	45.71	-10	15	43.2		046
02060	C2007	08	18.88836	20	50	34.86	-10	11	53.7		046
02060	C2007	08	18.88933	20	50	34.84	-10	11	53.8		046
02060	C2007	08	18.89020	20	50	34.83	-10	11	53.8		046
02060	C2007	08	18.89108	20	50	34.82	-10	11	53.5		046
02060	C2007	08	18.89196	20	50	34.81	-10	11	53.8		046
02060	C2007	08	18.89282	20	50	34.80	-10	11	53.8		046
02060	C2007	08	18.89370	20	50	34.79	-10	11	54.3		046
K07P28F	C2007	08	18.90056	21	40	47.46	+11	40	41.3		046
K07P28F	C2007	08	18.90161	21	40	47.09	+11	40	45.2		046
K07P28F	C2007	08	18.90296	21	40	46.60	+11	40	50.1		046
K07P28F	C2007	08	18.90367	21	40	46.35	+11	40	52.8		046
K07P28F	C2007	08	18.90503	21	40	45.86	+11	40	57.8		046
K07P28F	C2007	08	18.90578	21	40	45.58	+11	41	00.6		046
K07P09P	C2007	08	18.91174	23	25	59.09	-01	46	03.2		046
K07P09P	C2007	08	18.91225	23	25	59.25	-01	46	01.5		046
K07P09P	C2007	08	18.91282	23	25	59.42	-01	45	57.5		046
K07P09P	C2007	08	18.91336	23	25	59.60	-01	45	54.2		046
K07P09P	C2007	08	18.91392	23	25	59.78	-01	45	51.8		046
K07P09P	C2007	08	18.91450	23	26	00.03	-01	45	48.3		046
K07P27V	C2007	08	18.93843	21	00	42.84	-21	13	58.9		046
K07P27V	C2007	08	18.93988	21	00	42.37	-21	13	54.0		046
K07P27V	C2007	08	18.94052	21	00	42.14	-21	13	50.7		046
K07P27V	C2007	08	18.94182	21	00	41.70	-21	13	46.7		046
K07P08B	C2007	08	18.96203	22	38	55.80	+00	24	25.0		046
K07P08B	C2007	08	18.96278	22	38	55.53	+00	24	25.7		046
K07P08B	C2007	08	18.96365	22	38	55.25	+00	24	27.1		046
K07P08B	C2007	08	18.96441	22	38	54.89	+00	24	29.2		046
K07D08K	C2007	08	18.97306	00	03	03.20	+04	52	24.8		046
K07D08K	C2007	08	18.97383	00	03	03.18	+04	52	19.7		046
K07D08K	C2007	08	18.97444	00	03	03.17	+04	52	15.0		046
K07D08K	C2007	08	18.97508	00	03	03.06	+04	52	11.2		046

K07D08K	C2007	08	18.97575	00	03	02.99	+04	52	06.1		046
K07P11U	C2007	08	18.98126	00	28	38.65	+26	08	39.1		046
K07P11U	C2007	08	18.98247	00	28	38.78	+26	08	39.8		046
K07P11U	C2007	08	18.98329	00	28	38.86	+26	08	40.5		046
K07P11U	C2007	08	18.98406	00	28	38.96	+26	08	41.1		046
K07P11U	C2007	08	18.98481	00	28	39.03	+26	08	41.4		046
K07P11U	C2007	08	18.98627	00	28	39.19	+26	08	42.4		046
K07H15E	C2007	08	19.00017	00	19	40.12	+33	43	54.7		046
K07H15E	C2007	08	19.00120	00	19	40.00	+33	43	54.4		046
K07H15E	C2007	08	19.00208	00	19	39.82	+33	43	54.9		046
K07H15E	C2007	08	19.00297	00	19	39.68	+33	43	55.1		046
K07H15E	C2007	08	19.00383	00	19	39.59	+33	43	55.5		046
K07H15E	C2007	08	19.00471	00	19	39.52	+33	43	55.1		046
K07H15E	C2007	08	19.00558	00	19	39.42	+33	43	54.8		046
CK07N030	C2007	08	18.92626	22	04	20.39	-11	28	38.3		046
CK07N030	C2007	08	18.92838	22	04	20.29	-11	28	39.0	17.4 T	046
CK07N030	C2007	08	18.92926	22	04	20.20	-11	28	39.1		046
CK07N030	C2007	08	18.93014	22	04	20.17	-11	28	39.2		046
CK07N030	C2007	08	18.93102	22	04	20.15	-11	28	39.5		046
CK07N030	C2007	08	18.93189	22	04	20.08	-11	28	39.4		046
98I001	C2007	08	18.86469	21	47	24.64	-12	14	56.1	18.6 R	046
98I001	C2007	08	18.86575	21	47	24.63	-12	14	59.1		046
98I001	C2007	08	18.87142	21	47	24.56	-12	15	00.9		046
98I001	C2007	08	18.87234	21	47	24.51	-12	15	04.0		046
98I001	C2007	08	18.87525	21	47	24.50	-12	15	06.5		046
K07C26K	C2007	08	18.83672	20	09	33.53	-01	05	27.5		046
K07C26K	C2007	08	18.83758	20	09	33.59	-01	05	33.1		046
K07C26K	C2007	08	18.83876	20	09	33.68	-01	05	43.1		046
K07C26K	C2007	08	18.83939	20	09	33.74	-01	05	47.5		046
K07C26K	C2007	08	18.84016	20	09	33.81	-01	05	53.3		046
K07C26K	C2007	08	18.84139	20	09	33.90	-01	06	03.8		046
K07P08E	C2007	08	18.84607	20	39	06.05	-14	20	36.6		046
K07P08E	C2007	08	18.84707	20	39	06.35	-14	20	32.5		046
K07P08E	C2007	08	18.84776	20	39	06.56	-14	20	29.7		046
K07P08E	C2007	08	18.84835	20	39	06.73	-14	20	26.9		046
K07P08E	C2007	08	18.84896	20	39	06.93	-14	20	24.5		046
K07P08E	C2007	08	18.85071	20	39	07.46	-14	20	17.5		046
K05A63B	C2007	08	14.89038	20	40	22.69	-17	48	25.0		046
K05A63B	C2007	08	14.89235	20	40	22.64	-17	48	26.1		046
K05A63B	C2007	08	14.89350	20	40	22.58	-17	48	27.5		046
K05A63B	C2007	08	14.89438	20	40	22.56	-17	48	27.8		046
K05A63B	C2007	08	14.89617	20	40	22.49	-17	48	28.3		046
K05A63B	C2007	08	14.89711	20	40	22.43	-17	48	29.2		046
K05A63B	C2007	08	14.89898	20	40	22.32	-17	48	28.9		046
K05A63B	C2007	08	14.90086	20	40	22.30	-17	48	29.2		046
K05A63B	C2007	08	14.90171	20	40	22.24	-17	48	29.8		046

02060	C2007	08	14.86204	20	51	23.58	-10	07	55.5	046
02060	C2007	08	14.86294	20	51	23.56	-10	07	55.7	046
02060	C2007	08	14.86439	20	51	23.55	-10	07	55.6	046
02060	C2007	08	14.86566	20	51	23.54	-10	07	55.6	046
02060	C2007	08	14.86648	20	51	23.53	-10	07	55.7	046
K07C26K	C2007	08	14.88014	20	03	26.54	+08	19	18.2	046
K07C26K	C2007	08	14.88068	20	03	26.59	+08	19	13.5	046
K07C26K	C2007	08	14.88124	20	03	26.68	+08	19	07.9	046
K07C26K	C2007	08	14.88177	20	03	26.69	+08	19	03.2	046
K07C26K	C2007	08	14.88229	20	03	26.75	+08	18	58.2	046
K07C26K	C2007	08	14.88284	20	03	26.81	+08	18	53.6	046
K07C26K	C2007	08	14.88337	20	03	26.80	+08	18	47.9	046
K07P08A	C2007	08	14.89997	20	40	07.23	-17	47	32.5	046
K07P08A	C2007	08	14.90171	20	40	07.07	-17	47	34.3	046
K07P08E	C2007	08	14.90910	20	15	43.21	-19	20	59.8	046
K07P08E	C2007	08	14.91163	20	15	44.14	-19	20	47.5	046
K07P08E	C2007	08	14.91270	20	15	44.53	-19	20	42.4	046
K07P08E	C2007	08	14.91322	20	15	44.72	-19	20	39.6	046
K07P08E	C2007	08	14.91429	20	15	45.12	-19	20	34.3	046
K07P08E	C2007	08	14.91481	20	15	45.32	-19	20	32.0	046
BE25728	C2007	08	14.85524	20	07	45.91	-10	44	17.3	046
BE25728	C2007	08	14.85600	20	07	44.87	-10	44	18.8	046
BE25728	C2007	08	14.85636	20	07	44.50	-10	44	21.0	046
BE25728	C2007	08	14.85749	20	07	43.00	-10	44	21.6	046
BE25728	C2007	08	14.85785	20	07	42.54	-10	44	22.3	046
BE29710	C2007	08	13.94897	00	19	48.71	+25	10	05.7	046
CK07M010	C2007	08	13.85041	19	58	01.76	+00	14	08.0	046
CK07M010	C2007	08	13.85676	19	58	01.48	+00	14	07.4	046
CK07M010	C2007	08	13.85808	19	58	01.40	+00	14	07.2	046
CK06002F	C2007	08	13.99613	21	46	06.43	-08	34	36.5	046
CK06002F	C2007	08	13.99845	21	46	06.34	-08	34	36.4	046
02060	C2007	08	13.92735	20	51	35.04	-10	07	01.1	046
02060	C2007	08	13.92828	20	51	34.98	-10	06	59.7	046
02060	C2007	08	13.92911	20	51	34.97	-10	06	59.8	046
02060	C2007	08	13.92986	20	51	34.95	-10	06	59.7	046
02060	C2007	08	13.93089	20	51	34.94	-10	07	00.0	046
02060	C2007	08	13.93171	20	51	34.93	-10	07	00.1	046
02060	C2007	08	13.93249	20	51	34.92	-10	07	00.2	046
26761	C2007	08	13.99188	21	46	44.03	-08	35	37.2	046
26761	C2007	08	13.99274	21	46	44.00	-08	35	38.0	046
26761	C2007	08	13.99332	21	46	43.95	-08	35	37.5	046
26761	C2007	08	13.99613	21	46	43.87	-08	35	39.1	046
26761	C2007	08	13.99845	21	46	43.75	-08	35	39.4	046
26761	C2007	08	13.99980	21	46	43.75	-08	35	39.6	046
CK06002F	C2007	08	13.99188	21	46	06.59	-08	34	36.6	046
CK06002F	C2007	08	13.99274	21	46	06.56	-08	34	36.7	046

17.9 R

CK06002F	C2007	08	13.99332	21	46	06.54	-08	34	36.6		046
CK06002F	C2007	08	13.99388	21	46	06.52	-08	34	36.5		046
CK06002F	C2007	08	13.99442	21	46	06.49	-08	34	36.8		046
BE29710	C2007	08	13.94295	00	19	48.11	+25	10	01.1	17.8 R	046
BE29710	C2007	08	13.94418	00	19	48.21	+25	10	02.1		046
BE29710	C2007	08	13.94498	00	19	48.30	+25	10	02.5		046
BE29710	C2007	08	13.94572	00	19	48.36	+25	10	02.8		046
BE29710	C2007	08	13.94662	00	19	48.47	+25	10	04.2		046
BE29710	C2007	08	13.94741	00	19	48.54	+25	10	04.6		046
K07C26K	C2007	08	13.83165	20	01	46.62	+11	00	36.5		046
K07C26K	C2007	08	13.83318	20	01	46.70	+11	00	21.6	17.0 R	046
K07C26K	C2007	08	13.83392	20	01	46.78	+11	00	14.9		046
K07C26K	C2007	08	13.83458	20	01	46.85	+11	00	08.3		046
K07C26K	C2007	08	13.83528	20	01	46.89	+11	00	01.8		046
K07C26K	C2007	08	13.83599	20	01	46.95	+10	59	55.1		046
K07P08A	C2007	08	13.89042	20	41	28.39	-17	41	40.9		046
K07P08A	C2007	08	13.89150	20	41	28.31	-17	41	41.2		046
K07P08A	C2007	08	13.89241	20	41	28.28	-17	41	41.4		046
K07P08A	C2007	08	13.89537	20	41	27.99	-17	41	41.9		046
K07P08A	C2007	08	13.89626	20	41	27.91	-17	41	41.8		046
K07P08A	C2007	08	13.89807	20	41	27.81	-17	41	43.8		046
K07P08A	C2007	08	13.89898	20	41	27.75	-17	41	42.8		046
K07P08A	C2007	08	13.90094	20	41	27.51	-17	41	45.3		046
K07P08A	C2007	08	13.90211	20	41	27.49	-17	41	45.7		046