

MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
Přírodovědecká fakulta

BAKALÁRSKA PRÁCA

SVETELNÁ KRIVKA ASTEROIDU

Ing. Andrej ŠIMOR

Brno 2006

## **Anotácia**

Táto práca sa zaoberá meraním a analýzou svetelnej krivky planétky. Fyzikálne vlastnosti planétok, ich tvar, rotačné periódy a orientácie rotačných osí nám napomáhajú spoznať ich evolúciu. V súčasnej dobe sa ukazuje dôležitosť poznania vlastností asteroidov, a to najmä z dôvodu výskytu potenciálne nebezpečných asteroidov (PHA). Pri určení ich zloženia by nám mohli planétky napomôcť pri objasňovaní procesov pri vzniku nielen našej slnečnej sústavy a vo vzdialenejšej perspektíve ako surovinové zdroje. Je teda zrejmé, že asteroidy ovplyvňujú náš život viac, akoby sa mohlo zdať.

Cieľom mojej práce bolo určenie synodickej krivky. Meranie bolo realizované CCD kamerou Apogee AP 8p.

## **Annotation**

This work deal with observation, measurement and analyze of light curve of asteroid. Physical characteristics of asteroid such as a shape, rotating periods and orientation of rotating s/axes foster knowledge of their evolution. Nowadays, the importance of knowledge of characteristics of asteroid is becoming even more important especially with occurrence of potentially dangerous asteroids (PHA). Exploration and determination of characteristics of asteroids can enable explanation of creation of not only our solar system but equally exploit asteroids as potential raw materials resources for mankind. Apparently, asteroids influence our lives more than we would expect

The objective of my work is to determine synodic curve. Measurement was realized by means of a CCD camera Apogee AP 8p.

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne, s použitím uvedenej literatúry a podľa metodických pokynov vedúceho bakalárskej práce.

Brno 8.1.2007

Ing. Andrej Šimor

Chcel by som sa poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Mgr. Jozefovi Világimu a Mgr. Filipovi Hrochovi, Ph.D., za technickú pomoc a ľudský prístup. Maminke za morálnu a psychickú podporu pri štúdiu a Ľudke za držanie palcov.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Teoretická časť – asteroidy</b>	<b>8</b>
	2.1. História poznávania asteroidov-vývoj definície.....	8
	2.2.Registrácia a pomenovávanie.....	9
	2.3.Rozdelenie asteroidov.....	10
	2.4.Vznik a vývoj asteroidov.....	10
	2.5.Vlastnosti a zloženie asteroidov.....	12
<b>3</b>	<b>Teoretická časť – technika</b>	<b>15</b>
	3.1 Prečo CCD.....	15
	3.2.Princíp CCD.....	16
	3.3. Typy CCD.....	16
	3.4.Problémy CCDa ich riešenie.....	19
<b>4</b>	<b>CCD Fotometria</b>	<b>23</b>
	4.1. Trocha teórie.....	23
	4.2.Predpoklady pre správnu fotometriu.....	24
	4.2.1.Expozičná doba.....	25
	4.2.2.Veľkosť obrazu asteroidu /hviezdy.....	25
	4.2.3.Fotometria asteroidu.....	27
	4.2.4.Extinkcia - Pozorovacie podmienky.....	27
<b>5</b>	<b>Praktická časť</b>	<b>29</b>
	5.1.Použité prístroje-história ďalekohľadu.....	29
	5.2.Pozorovaný objekt.....	29

5.3.Pozorovania.....	31
5.4.Spracovanie dát.....	34
5.5.Naväzovanie svetelnej krivky z viacerých nocí.....	34
<b>6 Záver</b>	<b>37</b>
<b>Grafická príloha</b>	<b>39</b>
<b>Použitá literatúra</b>	<b>42</b>

## Úvod

Cieľom tejto práce bude na základe CCD fotometrie určiť svetelnú krivku asteroidu.

V teoretickej časti sa najskôr zoznámime z históriou spoznávania, spôsobom pomenovávania, možným vývojom a rozdelením asteroidov.

V druhej časti teoretického úvodu prenikneme do podstaty fungovanie CCD čipu, rozdelenie a spôsob práce s ním. Nasleduje základ astronomickej fotometrie.

V praktickej časti budú spracované vlastné fotometrické dáta a zostrojená svetelená krivka. V závere sú výsledky konfrontované z hodnotami určenými z meraniami iných.

### **Teoretická časť – asteroidy**

#### **2.1.História poznávania asteroidov-vývoj definície.**

História poznávania asteroidov je omnoho kratšia v porovnaní s poznávaním planét.

Už Kepler upozornil, že medzi dráhami Marsu a Jupitera existuje medzera. Z iniciatívy slovenského rodáka F. Zacha preto začalo hľadanie chýbajúcej planéty ako jeden z prvých medzinárodných astronomických projektov už v roku 1796. Obloha bola rozdelená zástupcami rôznych hvezdární na oblasti, kde bude hľadaná chýbajúca planéta. V tej dobe sa verilo v platnosť Titus-Bodeho radu rozmiestnenia planét. Čoskoro ich snaha bola korunovaná uspechom. V 1801 bola objavená najväčšia planétka Ceres Giuseppem Piazim. Spočiatku bola považovaná za chýbajúcu planétu. Pri pozorovaní Ceresu bol v roku 1802 objavená Pallas W. Olbersom. Bolo to prekvapujúce a dalo sa predpokladať, že počet objektov medzi dráhami bude stúpať. Po určení parametrov dráh bol zrejmý ich malý polomer. Boli teda degradované na malé planéty – planétky. Ich počet prekročil 100 v roku 1868, 200 v roku 1879 a 300 v roku 1890.

Spočiatku boli planétky objavované a pozorované vizuálne. Neskôr pomohla pri ich skúmaní fotografia. Jej využitie bolo revolučným krokom, pretože pri dlhšej expozícii a pointácii na oblohu sa planétka vykreslí svojím pohybom oproti pozadiu ako čiarka v prípade Wolfovej metódy. Metcalfova metóda má väčší dosah, lebo ďalekohľad je pointovaný na hypotetickú planétku rýchlosťou 30“ za hodinu oproti oblohe. V tomto prípade sa väčšina plnétok hlavného pásu zobrazí ako bod a hviezdy ako čiarky. To je ich jediný markantný rozdiel v tom, ako sa nám javia v ďalekohľade. Preto bol prijatý dvojtvar asteroid-planétka. Ďalším nemenej dôležitým faktorom bola dokumetačná a objektívna hodnota snímky. Snímku je možné opakovaně v teple a pohodlí prehliadať a premeriavať. Pre výpočet dráhy asteroid je veľmi dôležitá archivácia starších snímok. Planétiiek zrazu bolo toľko, že sa hlavným problémom stala ich evidencia a výpočty dráh.



Použitie CCD prvkov bolo nasledujúcim revolučným krokom. Väčšia citivosť a linearita CCD prvkov v porovnaní s fotografickým materiálom umožnila zväčšiť dosah astronomických prístrojov. Spracovanie digitalizovaných dát je oveľa jednoduchšie a rýchlejšie. Vývoj a zrýchľovanie výpočtovej techniky umožnilo konštruovanie automatických observatórií. Vďaka tomuto technologickému pokroku zaznamenávame neuveriteľný boom v pozorovaní asteroidov. K 9. novembru 2006 bola spočítaná dráha pre 341328 asteroidov [30]. Na začiatku keď boli objavované planétky medzi dráhou Marsu a Jupitera predpokladal sa ich kamenný (čiastočne planetárny charakter). Neskôr, keď boli objavované telesá aj vo väčších vzdialnostiach, z pozorovaní vyplynul ich možný kometárny charakter, je vhodnejší všeobecný názov asteroidy. Na Pražskom zasadaní IAU bol Pluto správne degradovaný piedestálu planéty. Ale zavedenie nejednoznačného pojmu trpasličia, planéta kam boli zaradené: Ceres, Pluto a Eris, príliš nepomáha pri doterajšej nejednoznačnej kategorizácii neplanetárnych objektov našej slnečnej sústavy.

## **2.2.Registrácia a pomenovávanie**

Časom s pribúdajúcim množstvom planétok sa ukázala nutnosť centrálnej registrácie a evidencie.

V prípade, že je pozorovaný ešte nevidovaný asteroid, dostane predbežné označenie skladajúce sa z letopočtu objavu (napr 2006), v polovici mesiaca kedy bola objavená (napr. F znamená druhú polovicu marca) a poradia objavu v danej polovici mesiaca (napr. G znamená 7. v poradí). V prípade viacerých objavov môže byť posledné písmeno aj indexované (napr. 2003 UB<sub>313</sub>).

Veľké množstvo pozorovaní si vyžiadalo centralizované spracovávanie. Momentálne sa týmto zaoberá Minor Planet center pri Smithsonianom observatóriu.

V prípade, že je asteroid pozorovaný vo viacerých úsekoch dráhy a prípadne viacerých opozíciách, je možné jej presne spočítať dráhu. Potom asteroid dostáva definitívne poradové číslo a čaká na pomenovanie. Meno asteroidu navrhuje jej objaviteľ. Sú pravidlá pre jednotlivé skupiny. Napríklad Trójanom sú dávané mená hrdinov gréckej

mytológie, planétkam z hlavného pásu je možné dávať mená osôb, názvy geografických objektov a pod.[4]

### **2.3.Rozdelenie asteroidov.**

Dynamické skupiny asteroidov rozlišujeme podľa polohy ich obežnej dráhy. Najbližšie k Slnku by sa mohli nachádzať zatiaľ nepozorované Vulkanoidy. K Zemi sa približujúce blízkozemné asteroidy delíme podľa polohy dráhy na Athen, Apollo, Amor. Medzi dráhou Marsu a Jupitera sa nachádza hlavný pás planétiiek. V okolí libračných bodov Jupitera ale aj ostatných veľkých planét sa nachádzajú Trójania. Perihélium nachádzajúce sa za dráhou Jupitera a veľkú excentricitu majú Kentauri. Niektorí z nich majú dvojité značenie, ako asteroid a ako kométa, pretože sa u nich v perihéliu objavuje kóma. Považujeme ich za telesá rozptýleného disku. Transneptunické objekty (TNO) sú považované za objekty Edgewortha-Kuiperovho pásu, ich poloos je väčšia ako poloos Neptúna. Časť z nich patrí medzi Neptúnových Trójanov [31]. TNO rozdelujeme podľa tvaru obežných dráh na Plutinos, Cubewanos a objekty rozptýleného disku. Plutinos majú excentrickú dráhu s väčším sklonom a navyše obiehajú Slnko v rezonancii s Neptúnom. Po Pražskom zasadaní IAU za ich zástupcu považujeme aj Pluto. Cubewanos majú tvar dráhy blízky kružnici. Objekty rozptýleného disku majú väčší sklon k ekliptike a excentricitu, pričom ich poloos je rovná cca 50 AU. Tvary dráh blízkozemných asteroidov a kentaurov nasvedčujú, že by mohlo ísť o bývalé kométy, naopak zmena kometárnych dráh na dráhy planétoek hlavného pásu sa dá taker z určitostíou vylúčiť. Kuiperov pás siaha od obežnej dráhy Neptúna (50 AU) až po 1000 AU. Jeho objekty majú obežnú dráhu tvaru rozptýleného disku. Oortov oblak siaha od 3000 AU až po 100 000 AU. Objekty vnútorných oblastí Oortovho oblaku sú sústredené neďaleko ekliptiky a ich polohy sú symetricky rozložené na sfére. [6]

### **2.4.Vznik a vývoj asteroidov.**

Podľa dnešných predstáv vznikali planétky hlavného pásu spolu s planétami z protoplanetárneho disku v počiatkových fázach Slnčnej sústavy. Ihneď po kondenzácii

planetesimál začal rásť Jupiter a Saturn rýchlejšie ako dochádzalo k akumulácii planetesimál medzi dráhami Marsu a Jupitera. Tým bol spôsobený nedostatok stavebného materiálu pre asteroidy, čo bolo limitujúce pre ich veľkosti. Gravitačne Jupiter spôsobil zväčšenie vzájomných rýchlostí už sformovaných asteroidov. Trvanie tohoto scenára trvalo cca 1 milión rokov. Pri dosiahnutí vzájomných rýchlostí  $5 \text{ km s}^{-1}$  nedochádza k ďalšiemu spájaniu, ale naopak pre zrážajúce sa telesá to má katastrofický charakter. Spočiatku tento dej mal najdeštruktívnejší charakter, ale v súčasnosti keď je planétok podstatne menej, je kolízny vývoj podstatne pomalší [6]. Zmenšenie počtu asteroidov sa odohrávalo: zrážkami samotných asteroidov, gravitačnými poruchami veľkých planét, zánikom pri zrážkach s planétami a Slnkom, vypudením so slnečnej sústavy, dopadovou a fyzikálnou eróziou.

Je predpoklad, že vzájomnými zrážkami asteroidov vznikli „rodiny“. Sú to telesá majúce podobné dráhy a spektrálnu charakteristiku. V súčasnosti rozlišujeme asi 30 rodín. V miestach kde by planétky mali obežnú dobu rovnú určitému zlomku (1:2, 1:3, 2:5, 3:7..) obežnej doby Jupitera, planétky chýbajú. Sú takzvané Kirkwoodove medzery. Gravitácia Jupitera v časovom úseku už 100 000 rokov spôsobuje, že v týchto miestach sa prudko mení excentricita planétok (až po hodnotu 1), čiže dráhy sa stávajú chaotickými. Takže mnohé z nich skončili na Slnku, alebo na planétach, ale zároveň aj planétky pôsobili gravitačne na Jupiter. Množstvo planétok vo vnútri dráhy Jupitera spôsobovalo jeho brzdenie a tým aj približovanie sa k Slnku asi o 0,1 AU [30]. To následne vyvolalo ďalšie zmeny dráh planétok, pričom sa dá predpokladať migrácia aj ostatných planét. Na asteroidy môžu pôsobiť aj negravitačné sily. Pri rozmeroch telesa 0,1 až 100 m je zrejmy účinok Jarkovského efektu spôsobujúceho drift telies až po rezonančné obežné dráhy a následné gravitačné vypudenie. Jarkovského efekt spôsobuje neustále „čistenie“ od telies týchto rozmerov. Ide o reaktívnu silu vyvolanú spätným vyžarovaním asteroidu absorbovanej energie Slnečného žiarenia.[30],[34]

V prvotných fázach vývoja je možné, že prišlo k taveniu spôsobeného búrlivými fázami Slnka pred jeho vstupom na hlavnú postupnosť. Samotný vývoj vo vnútri asteroidov bol limitovaný ich veľkosťou. Pre priemernú hustotu  $3 \text{ g cm}^{-3}$  je hranica izostázy cca 300 km. Takýto priemer v súčasnosti má iba niekoľko asteroidov, čiže väčšina asteroidov nemá dostatočnú hmotnosť, aby nadobudla sférický tvar [3]. Je pravdepodobné, že mnohé

planétky prešli v minulosti čiastočnou diferenciáciou a súčasné planétky sú fragmentami ich zrážok. Keďže nepozorujeme zmenu vo farebnom indexe počas periódy svetelnej krivky, sa dá predpokladať, že materiál impaktov je rozptýlený po ich povrchu a to nasvedčuje intenzívnu zrážkovú činnosť. Najnovšie družicové pozorovania tomu nasvedčujú, ukazujú povrch planétok zaprášený a premiešaný.

Už počas formovania slnečnej sústavy objekty kuiperovho pásu gravitačne pôsobili na Neptún, čo viedlo k jeho migrácii smerom od Slnka. Tým boli vypudené objekty bližšie ako 40 AU. Objekty kuiperovho a oortovho pásu sú pôvodné telesá slnečnej sústavy, alebo pozostatkami ich zrážok. V týchto oblastiach bola pri vzniku slnečnej sústavy hustota telies tak nízka, že sa nepredpokladá zformovanie výrazne väčších telies ako Eris alebo Pluto

## **2.5.Vlastnosti a zloženie asteroidov.**

K spoznaniu zloženia asteroidov nám napomohli objavy meteoritov a ich stotožnenie s jednotlivými typmi. Podobne ako v prípade meteoritov je ich hrubé delenie na kamenno-kremičité-S (silicaceous, stony), kovové-M (metallitic), uhlíkaté-C (carbonaceous). Iné kategorizácie (podľa Tholena, SMASS) rozlišujú viac poddruhov, ale základné delenie zostáva rovnaké [28]. Ukazuje sa, že triedenie podľa albeda najmä v IR oblasti by umožňovalo rýchlejšiu a exaktnejšiu kategorizáciu. Pri tejto metóde [23] prináleží každej charakteristickej skupine asteroidov škála albeda určitej vlnovej dĺžky.

Dá sa predpokladať, že železné meteority sú fragmentami zrážky väčších asteroidov, v ktorých prebehla diferenciácia a následná teplotná metamorfóza, ktorú spôsobilo roztavenie jadra vplyvom rozpadu rádionuklidov. V prípade, že porovnáme spektrum asteroidu triedy S a obyčajného chondritu, vidíme zreteľný rozdiel. Vysvetľujeme to expozíciou povrchu slnečným vetrom – spekanie regolitu a usadzovaním železitých pár impaktov.

V prípade typu C je možné, že časť asteroidov je tvorená jadrami neaktívnych komét, ktoré obaluje kôra nepriepustného materiálu. Nasvedčuje tomu aj prítomnosť meteorických rojov súvisiaca z niektorými asteroidmi. V prípade TNO je ťažké rozlíšiť medzi asteroidom a kométou, pretože kométa tvorí kómu až vo vzdialenosti 4-5 AU od

Slnka. Skupiny ktoré by mohli byť bývalými kométami sú napr. AAA s veľkými excentricitami a kentauri. V prípade kentaurov sú rozlíšiteľne dve ohraničené skupiny na základe farebného indexu a sklonu dráhy. Je zrejмый vzťah medzi zložením a vzdialenosťou od Slnka, teda miestom vzniku. Na povrchu niektorých vzdialených asteroidov (kentauri, TNO) boli detekované zmrznuté prchavé látky organického pôvodu - tholiny. Naše znalosti o objektoch TNO sú limitované ich vzdialenosťou, ale predbežne sa ukazuje, že ide objekty rôzneho charakteru nakoľko farebnosť ich povrchov sa pohybuje od modrošedej až po tmavočervenú.

Planétky nemajú dostatok hmoty na sfornovanie do sférického tvaru. Aj na fotografiách sond sa nám ukazujú ako nepravidelné telesá. Na týchto fotografiách sú badateľné krátery, z ktorých vyplývajúca energia impaktu by mala rozbiť asteroid pokiaľ by bol pevný, ďalej je zrejмый proces zahľadzania malých kráterov. To všetko nasvedčuje tomu, že väčšina planétok hlavného pásu je tvorená balvanmi rôznych veľkostí, premiešaná z prachom, na povrchu regolitom držiaca pokope gravitáciou.

Prekvapujúcim zistením bolo, že niektoré asteroidy sú binárne. To znamená, že v prípade podobných hmotností asteroidu obiehajú spoločné ťažisko, alebo jeden je satelit druhého asteroidu. Zachytenie je málo pravdepodobné z dôvodu nevyhnutnosti brzdenia, pričom účinky slapových síl na zbrzdenie by boli zanedbateľné. Radarové a fotometrické pozorovania nasvedčujú, že ide o pomerne častý jav. Na druhej strane slabá gravitácia, vplyv veľkých planét a negravitačné sily spôsobujú, že väzby binárnych asteroidov sú nestále. To predpokladá mechanizmus „dopĺňania“. Je možné, že binárne asteroidy vznikajú rozrotovaním materského asteroidu a následným odštiepením vplyvom Jarkovského efektu, taktiež pripadá do úvahy rozštiepenie vplyvom slapových síl po priblížení sa veľkému telesu. Malá súdržnosť a nízka gravitácia je obmedzujúcim faktorom rýchlosti rotácie. Charakteristická doba rotácie pre planétky sa pohybuje rádovo v hodinách – zlomkoch dňa. Odhaduje sa, že hraničná rýchlosť rotácie „hromád suti“ je 2,3-3,3 hodiny. Pri tejto rýchlosti sú odstredivé a gravitačné sily v rovnováhe a planétka nadobúda tvar „kosti alebo piškóty“. Pri ďalšom skrátení doby rotácie dochádza k rozpadu a vzniku podvojnosti. Sú aj výnimky keď planétka má kratšiu dobu rotácie. Vtedy má zvyčajne malé rozmery (150m) a predpokladá sa, že ide monolit. Opačným extrémom sú pomalé rotátory ktorých obežná doba môže byť až niekoľko dní prípadne

týždňov. V tomto prípade sa predpokladá proces brzdenia, či už vplyvom podvojnosti alebo Jarkovského efektu.

### **Teoretická časť – technika**

#### **3.1. Prečo CCD**

Postupne s rozvojom techniky sa hľadajú stále lepšie pozorovacie prostriedky. Prvým a najdlhšie používaným detektorom bolo ľudské oko. Má veľký dynamický rozsah, ale aj fyziologické obmedzenia, subjektívnosť a krátky integračný čas. Určitý pokrok znamenalo zavedenie fotografie, kde sú obmedzujúcim faktorom najmä nízka citlivosť (okolo 1%) a nelinearita. V tomto prípade výhodou bolo predĺženie expozičného času a objektivizácia pozorovania.

Miniaturizácia a rozvoj elektroniky umožnili ich využitie pri konštrukcii fotoelektrických detektorov. Fotometrické pozorovania v súčasnosti sú realizované väčšinou použitím CCD prvkov. Prvý CCD (Charge Coupled Devices = nábojovo viazaná štruktúra) detektor bol zostrojený v roku 1970 v Bellových laboratóriách. Citlivosť – kvantová efektívnosť pri CCD prvkov sa udáva 40-80%, čo je markantný rozdiel oproti fotografii. To umožňuje skrátiť expozičný čas a zároveň zvyšuje dosah ďalekohľadov a zároveň prácu v oblasti linearity prvku. Ďalšou veľkou výhodou je citlivosť v oblastiach mimo viditeľné spektrum, pričom najcitlivejší je v oblasti blízkej IR. CCD je teda zobrazovací detektor umiestnený v ohniskovej rovine objektívu ďalekohľadu. Ďalšími výhodami CCD sú mechanická a elektrická stálosť. V porovnaní z fotografickou emulziou to predstavia veľkú výhodu v astrometrii. Hlavná výhoda však je, že obrazy vzniknuté CCD sú datovými súborami a je možné ich veľmi efektívne spracovávať. Nevýhodou je ich cena v prípade veľkoplošných detektorov a lokálne pretekanie náboja (blooming).

### 3.2.Princíp CCD

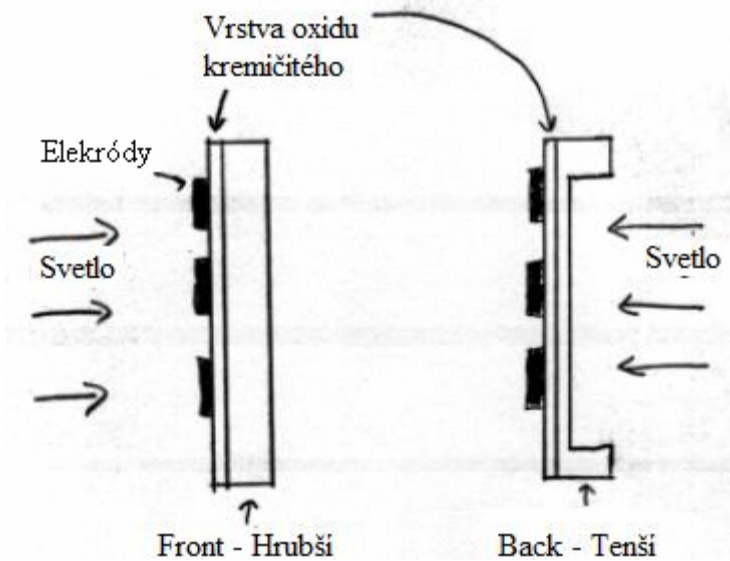
Základ čipu CCD je tvorený substrátom - dotovanou kremíkovou doštičkou na polovodič typu P, na túto je naparený izolant z čistého  $\text{SiO}_2$ . Tretia vrstva je tvorená jednotlivými obrazovými bodmi (picture element – pixel), v ktorých sú vyvedené jednotlivé elektródy. V oblasti elektród vznikajú v substráte potenciálové jamy. Celý obrazový prvok je tvorený maticou miniatúrnych (7-24 mikrometrov) štvorcových (pre astronómiu najvýhodnejších) pixelov, ktoré sú vzájomne prepojené tak, aby bol možný prenos ich elektrického náboja, ktorý vznikne počas expozície. V prípade nutnosti väčšej zobrazovacej plochy sa sa matrice ukladajú jedna vedľa druhej.

Princíp detekcie žiarenia je založený na fotoefekte. Pri prechode fotónu substrátom vzniká pár diera – elektrón. Keďže ide o polovodič typu P sú elektróny minoritnými nosičmi náboja. Spätnej rekombinácii je zabránené elektrickým poľom elektród. V oblasti elektrónových jám vytvorených elektródami dochádza k zhromažďovaniu elektrónov a tým aj integrácii náboja. Veľkosť náboja je úmerná veľkosti svetelného toku dopadajúceho na svetlocitlivý element a času počas ktorého sa náboj tvorí. Citlivosť snímača – kvantová efektívnosť je potom definovaná ako pomer počtu dopadnutých fotónov k počtu častíc vygenerovaných nábojov. Prvky majú lineárny priebeh citlivosti asi do 100 000 elektrónov na pixel. Pri vyššom počte dochádza k saturácii potenciálovej jamy a začne ovplyvňovať susedné pixely, tým vznikne pretečenie tzv. blooming, pričom počet saturačných elektrónov je závislý od veľkosti pixelu.

### 3.3.Typy CCD

Na spektrálnu citlivosť vplýva hrúbka substrátu. Absorbčná schopnosť kremíku rastie z klesajúcou vlnovou dĺžkou fotónu. Preto sú fotóny z modrej oblasti spektra z kratšou vlnovou dĺžkou zachytené skôr ako dlhovlnné z červenej oblasti. To znamená, že nie je možné zvýšiť citlivosť čipu pre obidve oblasti spektra zároveň. Pre každú oblasť sa používa iný typ CCD čipu:



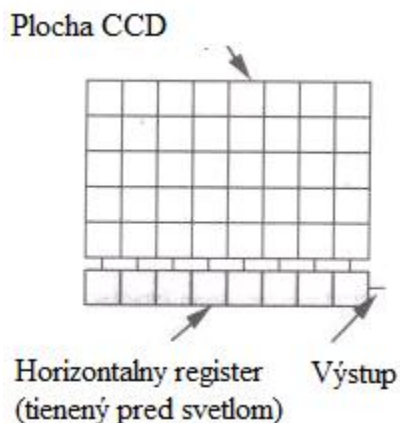


Obrázok 3.1 Schéma charakteristických typov Frontside a BacksideCCD [1]

Frontside - je to typ čipu, ktorý je používaný v bežných fotoaparátach. Svetlo dopadá zo strany elektród. Musí prejsť cez elektródu a izolačnú vrstvu čo znižuje citlivosť v maxime až o 50%. V červenej oblasti svetla je citlivosť dobrá, ale citlivosť v modrej je prakticky nulová. Možným riešením je pokrytie osvetlenej strany fluorescenčnou vrstvou a tým pádom fotóny modrej oblasti previesť na frekvenciu, v ktorej je čip dostatočne citlivý. Účinnosť sa pohybuje okolo 40%, ale výhodou je nižšia cena z dôvodu jednoduchšej výroby.

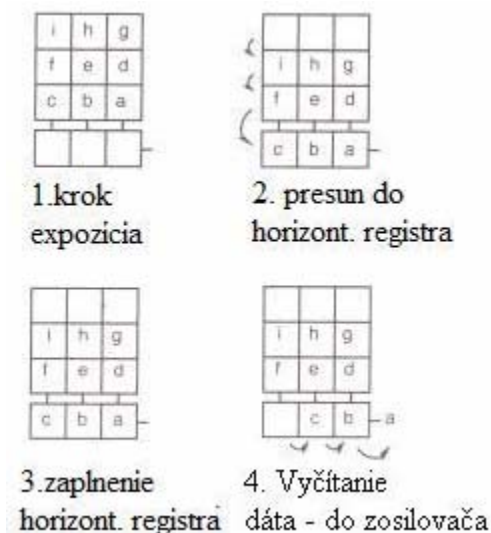
Backside – typ čipu, v ktorom svetlo prechádza cez tenkú (10 mikrometrov) a žiadnymi inými vrstvami. To zvyšuje celkovú citlivosť čipu až na 90%, najmä v modrej oblasti. Vyžaduje však veľké nároky na presnosť povrchu, kde sú použité vyspelé technológie a to znamená vyššiu cenu. Tenkosť detekčného substrátu môže spôsobovať vznik interferenčných obrazcov najmä v infračervenej oblasti vplyvom žiarenia atmosféry.

Po expozícii – vystavení citlivej plochy obrazu, je v matici čipu rozložený náboj zodpovedajúci obrazu. Jednotlivé pixely sú organizované do stĺpcov a to z dôvodu vyčítania.



Obrázok 3.2 Základné časti čipu CCD. [2]

Zmenami napätia v elektródach sa posunie obrazový náboj o jeden riadok. Takže najspodnejší riadok sa presunie do horizontálneho registra. Náboj v horizontálnom registri sa posúva pomocou horizontálnych elektród do výstupného zosilovača.



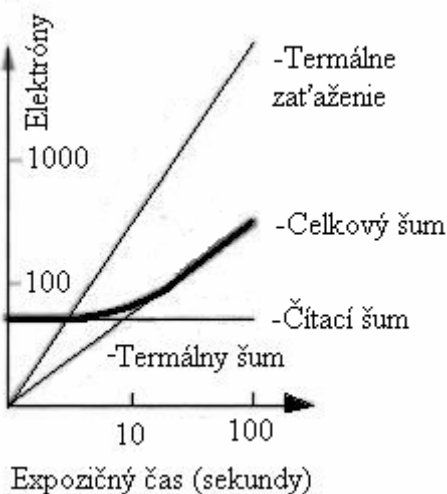
Obrázok 3.3 Postup vyčítania CCD.[2]

Tu je náboj zosilnený a digitalizovaný. Podľa spôsobu prenosu náboja v matici čipu rozdeľujeme CCD na: full frame a interline transfer. V prvom prípade sa na prenose náboja do horizontálneho registra zúčastňuje celá aktívna oblasť. To znamená nutnosť použitia mechanickej uzávierky, aby bolo zamedzené dopadu svetla na citlivú vrstvu počas vyčítania, inak by došlo k rozmazaniu snímku. Výhodou je využitie celej plochy na expozíciu a tým aj vyššia citlivosť. Druhý typ má párne stĺpce prekryté nepriehľadnou vrstvou, kde dochádza ku presunu náboja ihneď po expozícii z párnych stĺpcov a funguje ako elektronická uzávierka. Prekladanie aktívnych a neaktívnych stĺpcov obmedzuje

plochu, ktorou čip zhromažďuje svetlo. Dá sa to eliminovať použitím mikrošošoviek. Mikrošošovky môžu byť zároveň farebnými filtrami, ako to býva v bežných fotoaparátach. Pre astronómiu sú najvhodnejšie čipy bez nanesených filtrov. “Farebnosť” sa dosahuje spočítaním snímok jednotlivých farieb. Tieto získame filtrami so známou spektrálnou charakteristikou, ktoré sú umiestnenými pred CCD kamerou napr. v revolverovom zásobníku.

### 3.4.Problémy CCD a ich riešenie.

Kvalitu signálu nám neurčuje iba úroveň zachyteného signálu, ale tiež pomer signálu a šumu. Pár elektón – diera vzniká v substráte aj bez prítomnosti fotónov. Ako už bolo spomínané pár je rozdelený elektrickým poľom. Po čase zvanom relaxačná doba dosahuje počet dier a elektrónov rovnováhu. Tento jav je zdrojom temného prúdu, ktorý znižuje pomer signál/šum už počas registrácie obrazu. Rýchlosť tohoto javu je závislá na teplote. Aby bol šum vplyvom temného prúdu potlačný, musí byť expozícia kratšia ako relaxačná doba. Preto v astronómii pri registrácii slabých objektov, kde sa používa dlhšia expozičná doba je nutné CCD chladiť. Vplyvom nehomogenít jednotlivých pixelov tieto majú rozdielny temný prúd.

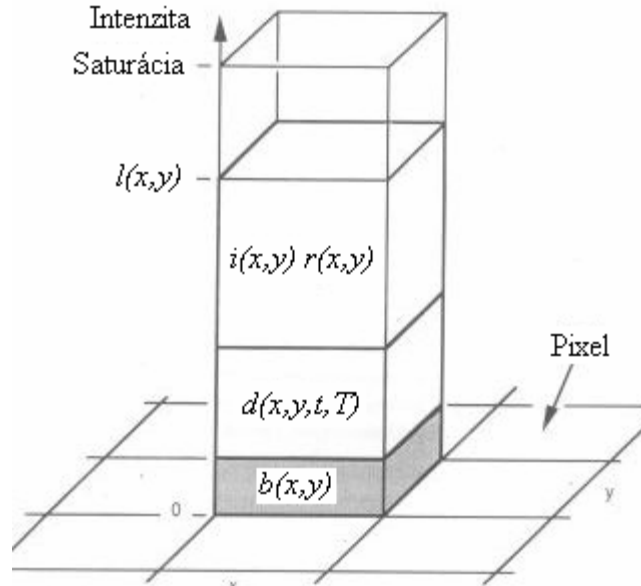


Obrázok 3.4 Závislosť zložiek šumu v závislosti od času.[2]

Preto sa realizuje darkframe. Získame snímok pri uzavretej optike s expozičnou dobou rovnakou a teplotou kamery, aká bude pri získaní snímku objektu. Je vhodné vytvoriť niekoľko darkframov a z nich medián-masterdark, pretože aj keď je temný prúd dobre opakovaným javom v saturácii jednotlivých pixelov, je aj náhodilá zložka. Vytváranie darkframov treba opakovať, pri zmene charakteristiky vplyvajúcich na temný prúd. Čiže každá expozičná doba a teplota kamery by mala mať svoj darkframe. Výsledný masterdarkframe je "zhmotnením" priestorového rozloženia temného prúdu a od každého exponovaného snímku by mal byť odčítaný.

Nehomogenity v materiále pixelov, ich rozdielnosť hrúbky a rozdielne prietoky prúdu pixelmi spôsobujú ich rozdielnu citlivosť. Ďalším problémom môže byť prach na chádzajúci sa na CCD, pričom výsledok sa navonok prejavuje rovnako ako v prípade neaktívnych pixelov – dead pixels. Na riešenie tohoto problému sa exponujú snímky z rovnomerným jasom po celej ploche - flat field. Tieto môžu realizované ako expozície oblohy alebo špeciálnych lúčov osvetľujúcich tienidlo. Snímky oblohy bývajú exponované krátko po západe, alebo pred východom Slnka v miestach bez gradientu jasnosti – v protisluku a výrazných hviezd. Nie je to jednoduché, lebo vhodné podmienky na flatfield trvajú rádovo minúty. Podobne ako v prípade darkframe sú nevyhnutné totožné podmienky ako v prípade korigovanej snímky, navyše v prípade použitia filtrov je nutné pre každý mať flatfield. Obvyklá dĺžka expozície flatfieldu je niekoľko desiatin sekundy, napriek tomu je nutné ho korigovať darkframom. Je mediánom viacerých flatfieldov normalizovaných na rovnaké pozadie získame výsledný mastreflatfield, ktorým vylúčime napríklad prítomnosť hviezd. Je vhodné realizovať flatfield raz za nie príliš dlhý čas, nakoľko poloha prachových častíc môže meniť a tým aj obrazce ním spôsobené.

Samotný CCD čip resp. každý pixel má svoj vnútorný konštantný šum, ktorý nie je závislý od času, ale je závislý na teplote. Zisťovanie hodnoty realizujeme expozíciou snímky s minimálnou možnou expozičnou dobou pri teplote kamery zodpovedajúcej korigovanému snímku. Dostaneme takzvaný bias alebo zero frame. Na odstránenie náhodného šumu je nutné získať medián niekoľkých snímok. Bias použijeme v prípade škálovania darkkramu.



Obrázok 3.5 Hodnota zložiek ADU v jednotlivom pixeli.

Hodnota ADU je podľa obrázka:

Kde jednotlivé hodnoty predstavujú:  $b(x,y)$  - bias, predvolená hodnota, konštantná hodnota nezávislá od teploty a expozičného času

$d(x,y,t,T)$  - hodnota temného šumu naakumulovaná počas expozície, hodnota je priamo úmerná od expozičného času, exponenciálne závislý od teploty.

$r(x,y)$  - faktor závislosti jeho hodnotu určíme pomocou flatfieldu.

Hodnota  $l(x,y)$  raw image sa potom rovná:

$$l(x,y) = b(x,y) + d(x,y,t,T) + i(x,y).r(x,y)$$

Vzorec 3.1 Hodnota ADU v pixeli po expozícii.[2]

Snímok je potom korigovaný podľa vzorca:

$$\text{kalibrovaný obrázok} = \frac{(\text{raw} - \text{darkframe})}{(\text{flatfield} - \text{bias})}$$

Vzorec 3.2 Vzorec kalibrácie.[2]

Takto upravený snímok je ešte zaťažený náhodným šumom. Ten je možné potlačiť matematickými úpravami (realizovať dodatočný flatfield preložením plochy pozadím a odčítanie parazitálneho svetla).

Elektronické sendvičovanie (stacking) je spočítavanie kratších expozícií to umožňuje vyhľadávanie slabších objektov, odstrániť vplyv montáže, zvyraznenie detailov, zväčšenie dynamického rozsahu.

### CCD Fotometria

#### 4.1. Trocha teórie

Z definície vyplýva , že fotometria je technika v astronómii ktorá sa zaoberá meraním toku alebo intenzity radiácie astronomických objektov. V prípade ak poznáme vzdialenosť fotometrovaného objektu môžeme určiť celkové množstvo energie emitovanej pozorovaným objektom, jeho veľkosť a teplotu. V minulosti na meranie bol používaný fotoelektrický fotometer, v súčasnosti je nahradený CCD kamerou.

Svetelná krivka je graf ktorý poukazuje na zmenu magnitúdy v čase. Svetelná krivka asteroidu je daná zmenou jeho jasnosti v čase. Zmena jasnosti v krátkom intervale je spôsobená rotáciou nepravidelného telesa asteroidu. V dlšom časovom období (niekoľko periód) má vplyv na jasnosť aj zmena fázy a zmena vzdialenosti od Zeme a Slnka. Výnimočne je možná aj zmena jasnosti na základe rôznych albedových oblastí.

Určenie svetelnej krivky je dôležité, nakoľko asteroidy pre nás skýtajú ešte mnoho nevyriešených otázok. Ukazuje sa, že existujú vzťahy medzi rotačnou periódou veľkosťou, spektrálnou triedou a vzdialenosťou od Slnka. Štatisticky sa odkrýva, že asteroidy typu M rotujú rýchlejšie ako asteroidy typu S a tie rýchlejšie ako typu C.

Pri dlhodobom pozorovaní zmien svetelnej krivky môžeme zistiť viacero vlastností asteroidu. Na základe pravidelnej zmeny tvaru krivky môžeme určiť orientáciu v priestore, rotáciu okolo ďalších osí a dokonca aj tvar asteroidu. Tvar blízkych asteroidov by bolo možné zistiť aj z nepatrne rozdielných svetelných kriviek pozorovaných súčasne z dostatočne vzdialených základní. Na spresnenie určenia tvaru asteroidu je možné použiť v prípade priblíženia (do 0,06 AU) radarové pozorovania, prípadne zákryt s hviezdou pozorovaný viacerými pozorovateľmi rozmiestnenými naprieč pásu zatmenia. V poslednej dobe napomohlo k objavu viacerých binárnych asteroidov súčasné sledovanie svetelnej krivky spolu s radarovým pozorovaním.

Vďaka svetelnej krivke je možné objaviť asteroidy s extrémnymi rotačnými periódami. O asteroidoch s rotačnou dobou kratšou ako 2,5 hodiny a priemerom menším ako 100m sa súdi, že by mohlo ísť monolitické kusy a nie hromady sutí. Na opačnej strane extrému sú “slow rotators“. Ich rotačné periódy sa pohybujú od niekoľkých dní až po mesiac. V tomto prípade je nevyhnutná spolupráca viacerých observatórií pri určení svetelnej krivky. [27]

Napriek veľkému pozorovaciemu boomu poznáme svetelné krivky iba viac ako 1000 asteroidov.

## 4.2.Predpoklady pre správnu fotometriu

1,Pre správnu fotometriu je nevyhnutné poznať extinkčné koeficienty. Na to potrebujeme expozície hviezdneho poľa v okolí zenitu a neďaleko horizontu. Vzhľadom na to, že použijeme diferenciálnu fotometriu, temuto problému sa vyhneme.

2,Je potrebné mať expozície na korekciu: darkframe, bias, flatfield

3,Musíme poznať charakteristiky prístrojov s ktorými pracujeme. Apertúrnou korekciou určíme maximálny prípustný pomer signál/šum (S/N), konvertujeme nameranú veličinu na prístrojovú.

4,Prístrojovú magnitúdu korigujeme vzhľadom na výskyt vzdušných mäs na nulovú atmosféru, teda o extinkciu. V prípade použitia diferenciálnej fotometrie predpokladáme, že porovnávané objekty sú extinkciou dotknuté podobne.

5,Prístrojová magnitúda korigovaná o extinkciu atmosféry je stále špecifická na náš prístroj a detektor. Je nutné ich transformovať na hodnoty skutočné. Rieši sa to za pomoci štandardných hviezd, ktorých magnitúdy poznáme.

6,Mali by sme poznať charakter meraného zdroja a možné neistoty v meraní. Pochopenie tejto súvislosti nám pomôže pri správnom určení analýze a korekcii dát, čo nám následne umožní získať presnejšie výsledky.



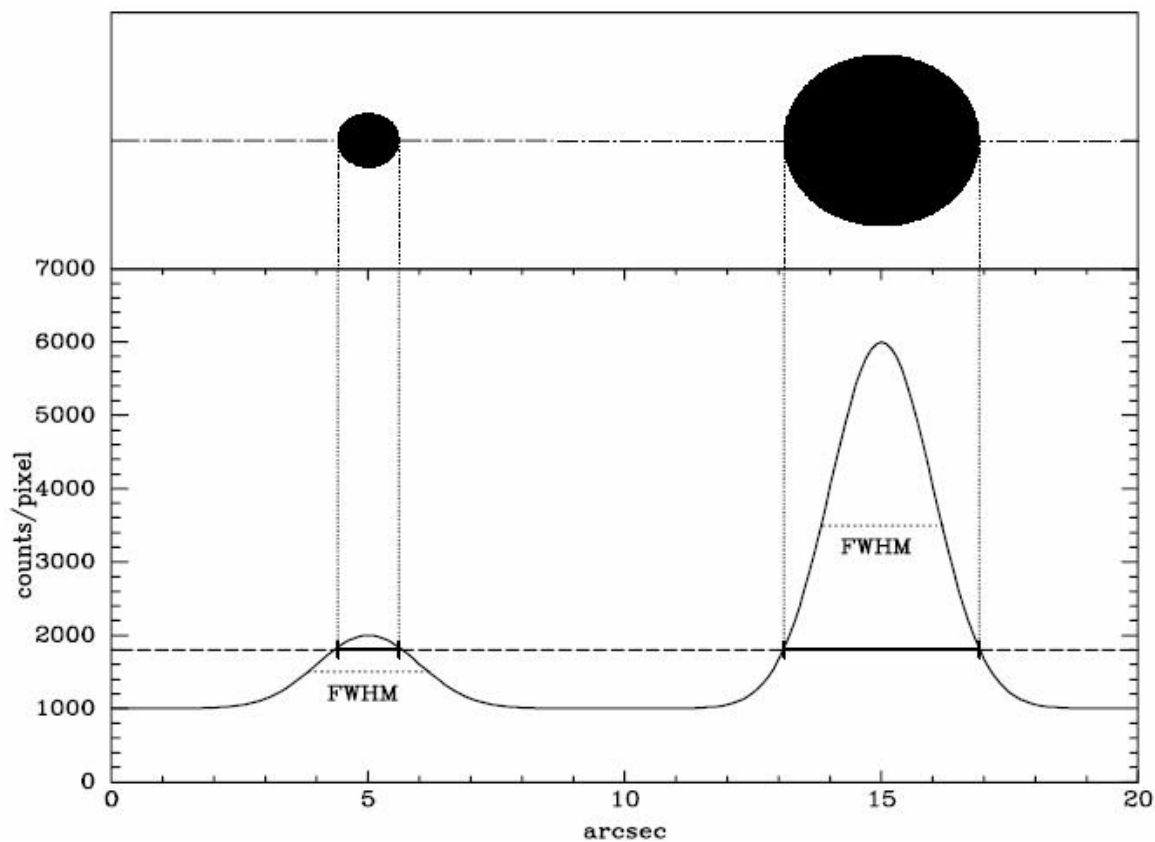
### **4.2.1.Expozičná doba**

Kvantifikácia ADU z počtu fotónov nie je jednoduchá nakoľko CCD prvok v od určitej miery saturácie prestáva mať lineárnu charakteristiku. Tento problém sa rieši vhodnou dĺžkou expozície. Naopak je dôležité, aby sme dosiahli mieru saturácie pre dostatočný odstup signálu a šumu, ktorý je nevyhnutný na nami vytýčenú presnosť fotometrie. Optimalna je cca 50 % miera saturácie. Dĺžku expozície slabých objektov nie je možné predlžovať ľubovoľne. V prípade pointácie na oblohu alebo asteroid, je potrebné, aby obraz či asteroidu alebo porovnávacích hviezd bol rovnaký, teda mal bodové maximum.

### **4.2.2.Veľkosť obrazu asteroidu /hviezdy**

Skutočný obraz hviezd a asteroidu môžeme považovať za bodový, avšak nikdy sa nám tak nezobrazí. Spôsobujú to ohybové a rozptylové javy v atmosfére a v samotnom prístroji. Atmosférický seeing spôsobuje, že zdanlivý obraz jednotlivých hviezd pri rôznych podmienkach býva iný. Pri fotometrovaní je treba brať do úvahy blízke okolie asteroidu, napríklad pri prechode hviezdnyim poľom, aby neprišlo ku skresleniu výslednému signálu zdanlivým prekrytím-kontamináciou.

Ak máme izolovaný objekt môžeme popísať obraz bodového zdroja ako funkciu rozšíreného bodu (point spread function - PSF). Tvar PSF je kruhovo symetrický, pričom veľkosť pri identických podmienkach je závislá od intezity. Funkcia sa aproximuje ako Gausiánske jadro a halo. Najčastejšou hodnotou charakterizujúcou PSF je plná šírka polovice maxima (full width at half maximum – FWHM), a teda uvažujeme s polomerom, kde je intenzita polovičná oproti centrálnemu píku. Z uvedeného vyplýva fakt, že hodnota FWHM všetkých bodových zdrojov v jednom optickom systéme a pri identických poveternostných podmienkach je rovnaká a to bez rozdielu intezity. Rozdiel medzi jasným a tmavším objektom je v parametroch gausiánu PSF. Tak ako ukazuje obrázok na nasledujúcej strane.



Obrázok 4.1 Intenzitný profil tmavej (vľavo) a svetlej (vpravo) hviezdy.[1]

Obrázok nám dáva aj odpoveď prečo sa nám jasnejšie hviezdne objekty javia väčšie a tmavšie menšie. Oko ani monitor nevie rozlíšiť toľko odtieňov šedej ako v našom prípade 16-bitová kamera (65535 úrovní). Preto je zvolená úroveň background – čierna. My vidíme len to čo je nad touto úrovňou.

Vlastnosťou PSF, ktorú treba mať na pamäti je, že nemá ostrý okraj. Tu sa vynára otázka ako navoliť správny priemer – apertúru, keď chceme správne fotometrovať objekt. Na jednej strane je vhodné „zozbierať všetko“ svetlo objektu, na druhej strane je potrebné zabrániť kontaminácii, obmedziť vplyv pozadia a tým aj zväčšeniu náhodilého šumu. Zvyčajne sa používa aperúra rovná 1,4 násobku FWHM. Táto hodnota nám dáva najpriaznivejší pomer signál šum. Dochádza tu k stratám, ktoré sa dajú kvantifikovať ako apertúrna korekcia, ktorá je v tomto prípade rovná 0,3 mag. Takže v prípade použitia apertúrnej fotometrie spočítavame hodnoty ADU jednotlivých pixelov vo vnútri „clonky“ apertúry stanovenej podľa spomínaného postupu. Je to pomerne jednoduchá metóda, ale

nie je možné ju použiť hustých hviezdnych poliach. Nie je to vhodná metóda na určenie skutočného toku, ale hodí sa pre nás na diferenciálnu fotometriu.

### 4.2.3.Fotometria asteroidu

V našom prípade bola použitá technika diferenciálnej fotometrie. Jej princíp spočíva v tom, že nezisťujeme priamo hodnotu prístrojovej magnitúdy, ale meriame rozdiel medzi známou magnitúdou nepremennej hviezdy a premennou magnitúdou asteroidu. Výhodou tejto metódy je, že čiastočne dokáže eliminovať premenné vplyvy atmosféry.

Signál jednotlivých pixelov v okolí maxima je  $D_{ij}$ , ale je nutné ho korigovať jasom oblohy potom:

$$I_{ij} = D_{ij} - B_a$$

$$I = \sum I_{ij}$$

Potom je inštrumentálna magnitúda je daná:

$$m = m_0 - 2,5 \cdot \log I$$

Vzorec 4.1 Výpočet prístrojovej magnitúdy.

V našom prípade by prichádzalo do úvahy aj použitie profilovej fotometrie. Jej veľkou výhodou je možnosť použitia v miestach hustých hviezdnych polí. Princíp je založený na preložení funkcie PSF cez jednotlivé obrazy stelárnych objektov a následnej integrácii. Z uvedeného je zrejma výpočtová náročnosť, a preto sme volili metódu apertúrnej fotometrie.

### 4.2.4.Extinkcia - Pozorovacie podmienky

Atmosférická extinkcia je zoslabenie svetla hviezd vplyvom atmosférickej absorpcie a rozptylových javov. Do určitej je možné čiastočne sa s ňou vysporiadať nami použitou diferenciálnou fotometriou. Nie je to ale univerzálne riešenie, pretože pre fotometriu je

nevyhnutné mať dostatočný odstup signál/šum. Určitým vylepšením by mohlo byť použitie farebných filtrov.

### **5.Praktická časť**

#### **5.1.Použité prístroje-história ďalekohľadu**

Pozorovania boli realizované na hvezdárni SAV v Modre na ďalekohľade typu Newton vyrobeného firmou Zeiss s priemerom 60cm, ohniskovou vzdialenosťou 329 cm a svetlosťou  $f/5,5$ . V primárnom ohnisku je osadený CCD kamerou Apogee AP8p. Samotný ďalekohľad má veľmi pohnutú históriu úzko spätú z históriou Slovenska.[12] Inštalovaný bol už v roku 1928 v Hurbanove. Bol to 35 rokov najväčší ďalekohľad vo vtedajšom Československu. Jeho prvé miesto užívania bolo bývalé observatórium grófa Mikuláša Konkoly - Thege až po začiatok druhej svetovej vojny. Po Viedenskej arbitráži, keď hrozilo jeho prepadnutie Maďarsku, putoval s chvíľkovou zástavkou v Prešove na Skalnaté pleso. Tu bol počas zlatej éry Československej astronómie. Pracovali s ním napríklad Bečvář, Mrkos. V sedemdesiatych rokoch hrozilo, že doslúži definitívne. Ale po výstavbe AGO Modra bol uložený na súčasné miesto na hrebeni Malých Karpát neďaleko osady Modra Piesok. Jedným z jeho obmedzení je vek montáže, ktorá neumožňovala pointáciu na asteroid.

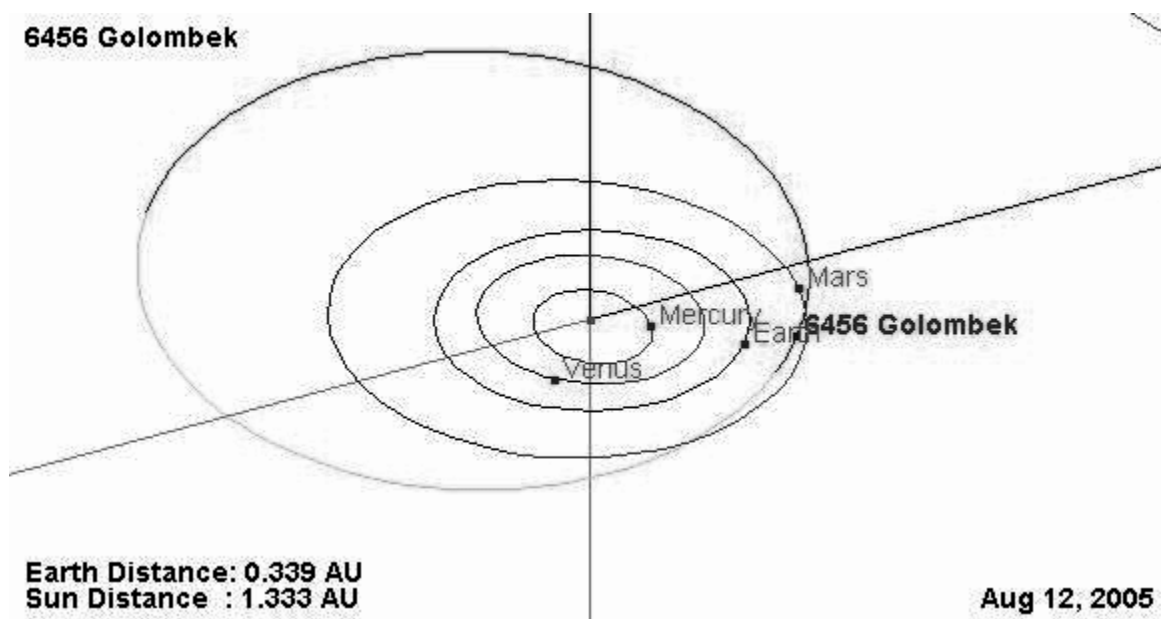
#### **5.2.Pozorovaný objekt**

Ako pozorovaný objekt bol vybraný v rámci pozorovacieho programu asteroidov FMFI UK v spolupráci AsU AV Ondřejov objekt NEA 6456 Golombek (1992 OM). Náš objekt bol objavený 27. júla 1992 Eleanor Helinovou, a K. J. Lawrencom v Palomar Mountain. Nazvaný bol podľa jedného zo šéfov úspešnej misie Mars Pathfinder - Matthew P. Golombekovi. Ide asteroid typu Amor - krížič Marsu. Má priemer 2,3 km a predpokladá sa že je spektrálnej skupiny S triedy A. Ide o nevelkú triedu asteroidov vnútornej časti hlavného pásu planétiiek. Pre túto triedu je charakteristický široký pás olivínu na vlnovej

dĺžke 1.0 mikrometra. Predpokladá sa, že asteroidy tejto triedy pochádzajú z plášt'a diferencovaného v súčasnosti fragmentovaného materského asteroidu. Nakoľko sa veľmi približuje Marsu je považovaná jeho dráha za nestabilnú. Tieto gravitačné poruchy by ho mohli zmeniť na krížič Zeme, preto si vyžaduje ďalšie sledovanie.

Atraktívnosť objektu - NEA a kusé doterajšie znalosti o asteroide boli jedným z dôležitých činiteľov pri rozhodovaní sa o konkrétnom objekte. Ako sa neskôr ukázalo, krátka perióda umožnila niekoľkonásobné pokrytie počas jednej noci. Naopak pomerne malá amplitúda vzbudzovala rešpekt z ohľadom na poveternostné podmienky. Pokiaľ som zistil, v Modre dosiaľ nebola publikovaná analýza krivky asteroidu, to pridávalo na čare mojej práce.

Na obrázku vidíme polohu dráhy v slnečnej sústave a polohu asteroidu počas pozorovania:



Obrázok 5.1 Poloha dráhy asteroidu 6456 Golombek v Slnečnej sústave. Poloha asteroidu počas pozorovania.[37]

### 5.3.Pozorovania

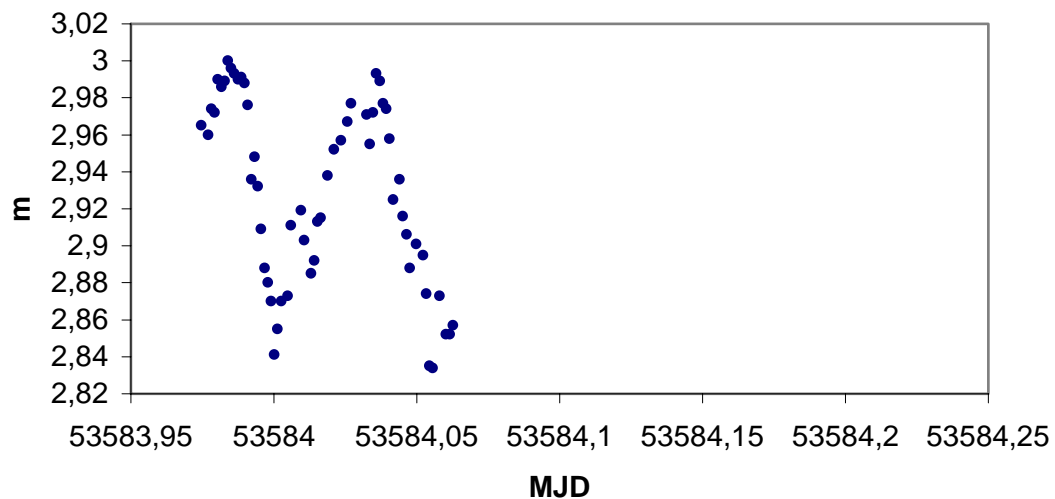
Expozície boli pred spracovaním vytriedené a znehodnotené odstránené. Znehodnotené boli vplyvom nepresnosti montáže, prechodom oblačnosti a kontamináciou hviezd. Expozície boli spracované programom MaxIm DL V4. Vždy v príslušný deň bol

realizovaný flatfield. Darkframe a bias boli používané opakovane. Program MaxIm DL má svoje obmedzenia, ale bol zvolený na spracovanie, pretože slúžil aj na obsluhu kamery.

Počas všetkých nocí bola použitá 60 sekundová expozícia. Všetky pozorovania boli realizované počas letných teplých dní, čo spôsobovalo problém s vychladzovaním kamery, keďže kamera je chladená Peltiérovým článkom. Snímkovanie bolo realizované bez použitia filtra. Objekt bol sledovaný štyri noci behom augusta roku 2005.

### 1/2.8.2005

Asteroid sa nachádzal v súhvezdí vodnára. Blízkosť k obzoru spôsobila čiastočné zašumenie snímok extinkciou. Z ohľadom na vonkajšiu vysokú teplotu bola kamera vychladená len  $-25^{\circ}\text{C}$ . Ďalším problémom sa ukázal blízky prechod asteroidu okolo dvoch hviezd čo spôsobilo kontamináciu. Z tohto dôvodu nemohla byť časť snímok použitá. Z tohto dňa bolo použitých 65 snímok.

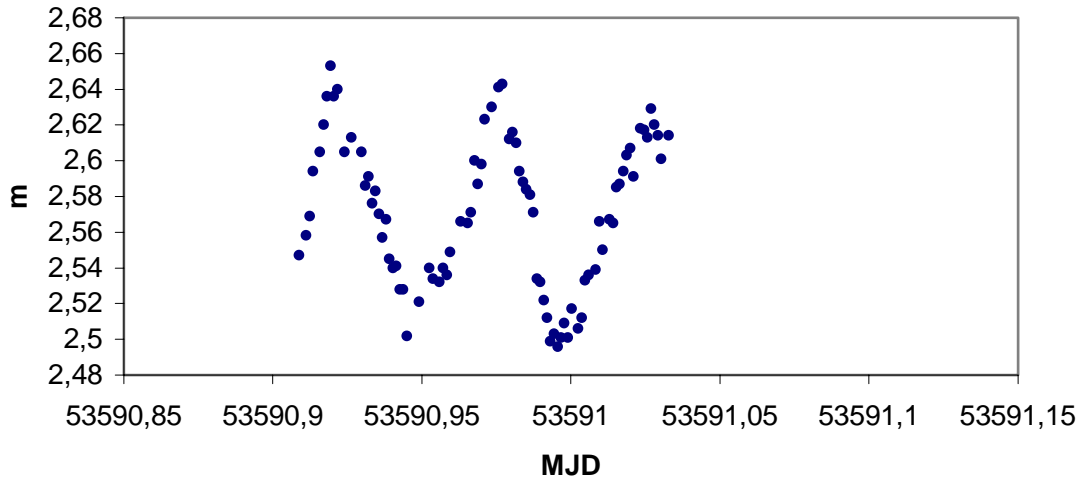


Obrázok 5.1 Svetelná krivka pre noc 1/2.8.2005 .

### 8.8.2005

Asteroid sa presunul ku hranici suhvezdia rýb. Presun asteroidu na oblohe a zároveň ročný pohyb oblohy nám spôsobili mierne zlepšenie pozorovacích podmienok. V tento deň bolo možné vychladiť kameru na  $-30^{\circ}\text{C}$ . Dnes nebol problém s kontamináciou

nakolko asteroid sa pohyboval mimo hviezdnych polí. Z tohto dňa bolo použitých 71 snímok.

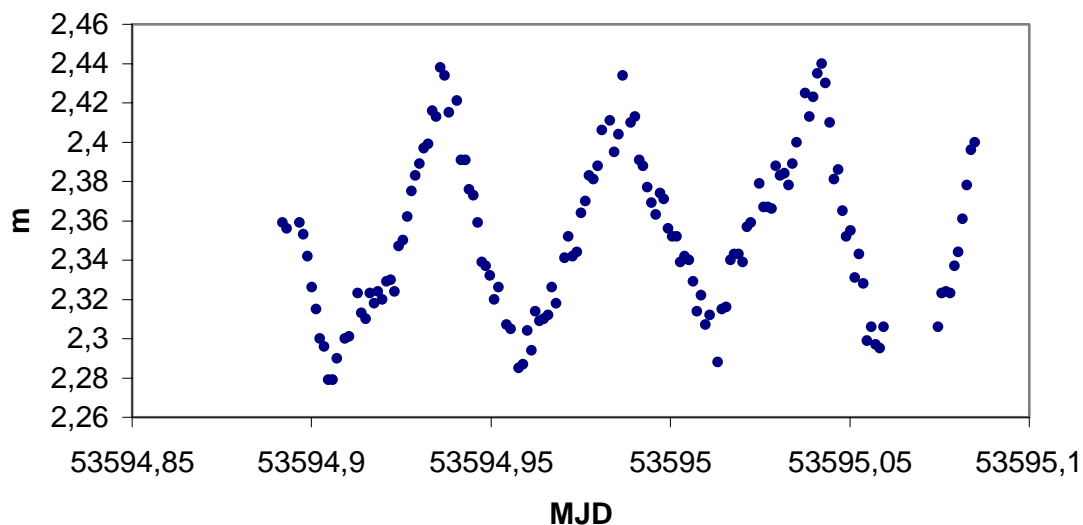


Obrázok 5.2 Svetelná krivka pre noc 8/9.8.2005 .

## 12.8.2005

Najlepšia pozorovacia noc. Hoci bolo teplo a kamera mohla byť vychladená len na -25°C, noc bola veľmi jasná navyše s malým seeingom. Prechod asteroidu oblohou prakticky bez hviezd nám umožnili použiť až 142 snímok.

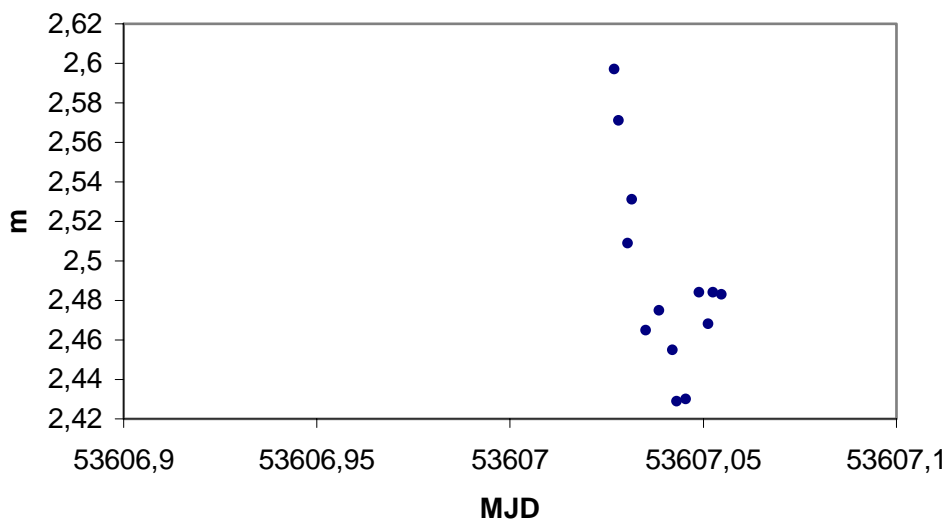




Obrázok 5.3 Svetelná krivka pre noc 12/13.8.2005 .

## 24.8.2005

Najhoršia pozorovacia noc. Aj keď bolo naexponovaných celkovo 131 snímok použiteľných bolo iba 14!! Ochladzovalo sa a to spôsobovalo vznik vznik oblačnosti a tá bola hlavným problémom dnešnej noci. Mali sme aj smolu, keď pri vyjasnení prechádzal asteroid hviezdny polom takže aj z toho mála snímok pri obstojnom počasí bolo ešte niekoľko kontaminovaných hviezdami. Kamera bola vychladená na -30 °C.



Obrázok 5.4 Svetelná krivka pre noc 24/25.8.2005 .

## 5.4. Spracovanie dát

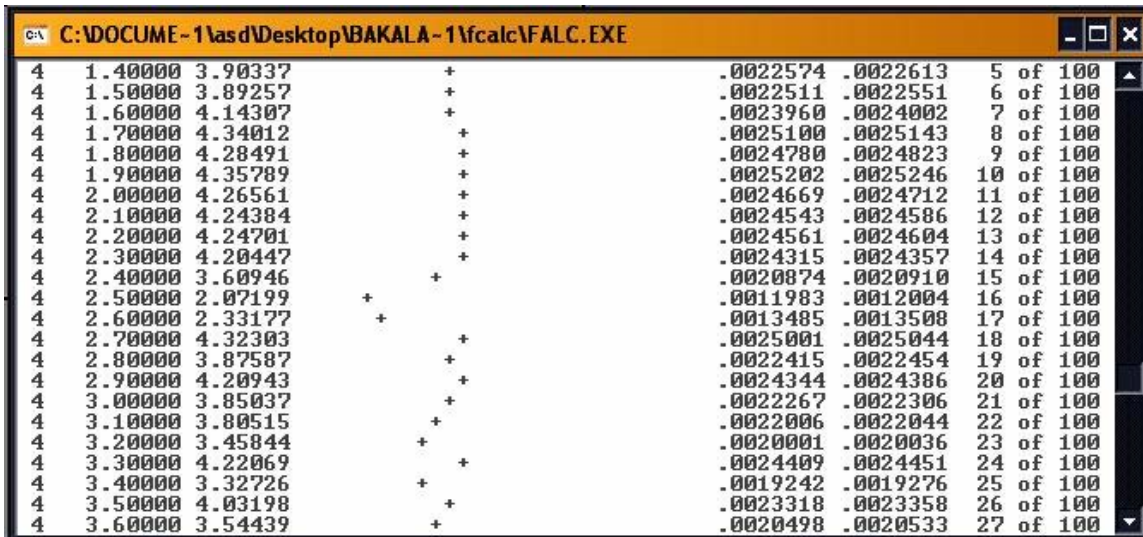
Každý snímok bol kalibrovaný na darkframe, bias a flatfield. Podobný postup bol testovaný aj programom IRAF, ale dopracovali sme sa podobným výsledkom.

V našom prípade bola použitá apertúrna fotometria. V snímke sme si zvolili tri referenčné hviezdy. Pri výbere bolo dôležité, aby sa ich saturácia pohybovala v lineárnej oblasti čipu, čo zodpovedalo asi 50%. Na spresnenie veľkosti šumu v snímke bola určená aj kontrolná hviezda, ktorej jasnosť zodpovedala približne jasnosti nášho asteroidu. Nasledovalo zhotovenie fotometrickej krivky samotným programom MaxIm. Táto slúžila iba k nahliadnutiu a prípadnému vytriedeniu snímok, v ktorých došlo k vzájomným zmenám jasnosti referenčných hviezd. Výstupom z MaxIm-a bola tabuľka \*.csv. Táto bola nainportovaná do Originu, kde z nej bol zostrojený bodový graf. Opäť bol skontrolovaný na korektnosť. Výstup bol spracovaný programom Falc (fourier analysis of lightcurve) od W. Harrisa.

## 5.5. Naväzovanie svetelnej krivky z viacerých nocí

Vzhľadom na to, že nebolo možné sledovať asteroid každú noc bol jeho pohyb na oblohe natoľko veľký, že museli byť vybrané iné referenčné a porovnávacie hviezdy. Tu vzniká problém hľadania nulových bodov. V prípade, že poznáme nulové body a opravíme ne hodnoty meraní je možné preložiť nimi krivku. Predpokladáme trigonometrický polynóm vo fourierovom tvare. Program FALC [38] rieši tieto problémy spoľahlivo, aj keď zadávanie nie je úplne user friendly.

Hodnoty diferenciálnej magnitúdy zo všetkých nocí bolo treba upraviť do \*.txt súboru v formáte ktorý bol vyžadovaný programom FALC. Nasledovalo fitovanie a iterovanie. Na začiatku sme predpokladali interval periódy od 1 do 11 hodín po kroku 0,1 hodiny a krivku štvrtého rádu. Na prvý pohľad je viditeľný pík okolo 2,5 hodiny.



Obrázok 5.5 Kópia z obrazovky počas fitovania FALCOM. [38]

Postupným iterovaním a spresňovaním som sa prepracoval na krivku 8 rádu a periódu 2,50124 hodiny. Vo výstupe z programu FALC boli zistené aj nulové body jednotlivých dní:

1.8.2005	$\Delta m =$	2,922 mag
8.8.2005	$\Delta m =$	2,566 mag
12.8.2005	$\Delta m =$	2,353 mag
24.8.2005	$\Delta m =$	2,512 mag

Tabuľka 5.1 Nulové body pre jednotlivé dni.

Na základe týchto údajov sme vedeli hodnoty nafázovať a preložiť.

Ďalším výstupom z FALC-u sme zistili hodnoty koeficientov fourierovho radu fitovanej krivky.

N	Cn	Sn
0	2,9219	
1	-0,0022	0,000
2	-0,031	0,0485
3	-0,0028	0,0043
4	-0,0018	0,0087
5	0,0023	0,0071
6	-0,0038	-0,0028
7	-0,0018	-0,0002
8	0,0018	0,0028

Tabuľka 5.2 Koeficienty fourierovho radu.

Výsledná fázová krivka sa nachádza v grafickej časti.

### 6. Záver

Pre asteroid (6456) Golombek bola zistená mnou zistená perióda  $2,50124 \pm 0,0007$  hodiny. Uvádzaná perióda iných autorov je 2,50116 [37], alebo 2,50129 [40] hodiny, čomu zodpovedá môj výsledok. Amplitúda bola zistená 0,14 mag s chybou  $\pm 0,012$  mag, iní autori uvádzajú 0,13 mag, čo tiež zodpovedá. Pri jasnosti 15,2 mag by mohlo ísť z nášho uhla pohľadu o asteroid pomerne pravidelného tvaru. Pri pohľade na tabuľku reziduí je zreteľný ich rovnomerný výskyt a trendy nie sú badateľné, teda šum je rovnomerný. Z ohľadom na pomerne nízku amplitúdu a stredoeurópske poveternostné podmienky sú výsledky preukazné.

Fázová krivka a reziduá sa nachádzajú v grafickej časti.

V grafickej časti sa taktiež nachádzajú „Modranské deep fieldy“ ide spočítané snímky z jednotlivých nocí. Sú na nich zreteľné jednak veľmi slabé hviezdy a na druhej strane sú patrné chyby kamery.

Bolo by zaujímavé pokračovať v skúmaní tohto objektu, nakoľko nie sú známe viaceré charakteristiky. Na určenie efemeríd, fázového uhla, prípadne tvaru by bolo potrebné pozorovanie v dlhšom časovom úseku. Chýbajúce údaje o albede a zníženie neistoty priemeru by bolo riešiteľné pozorovaniami v IR oblasti.

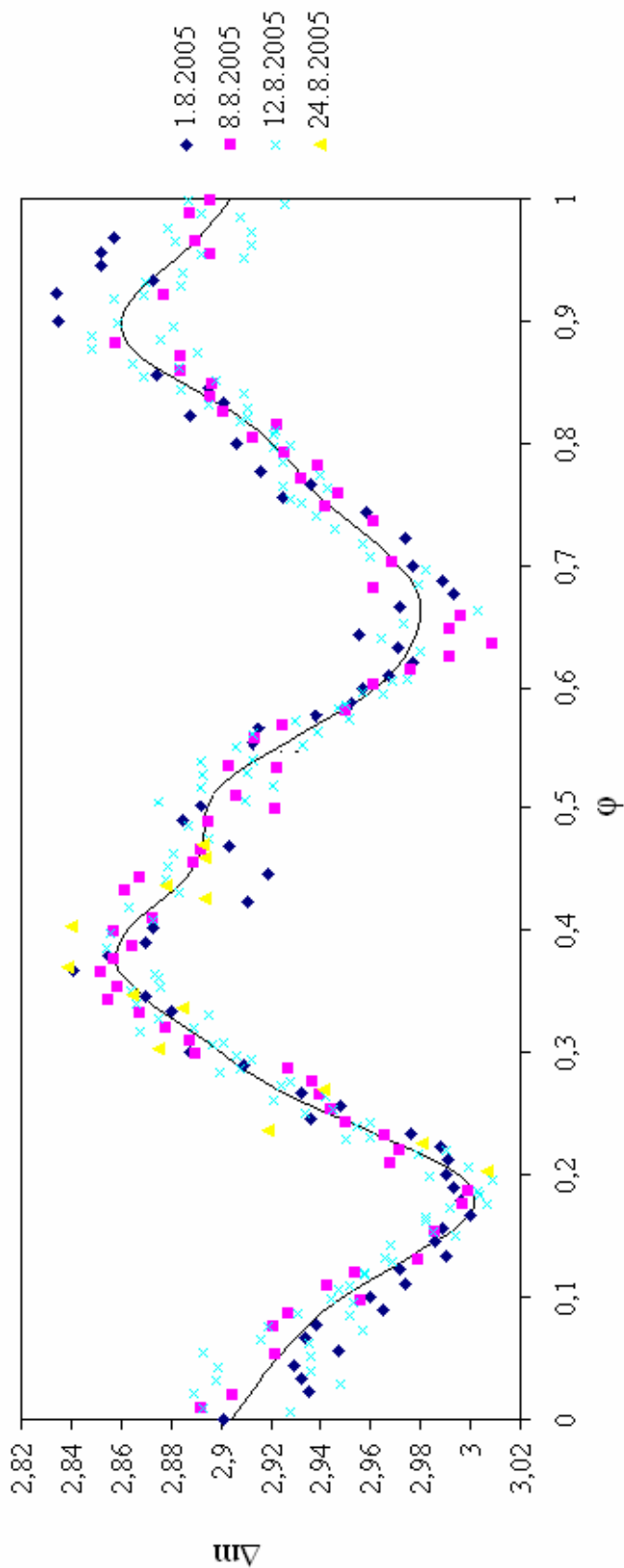
Ako bolo viackrát spomenuté v teoretickej časti asteroidy sú pomerne málo známe objekty. Prehĺbenie znalostí nich by nám zväčšilo obzor nielen v našej slnečnej sústave nakoľko sa dá sa predpokladať, že v prípade niektorých asteroidov by mohlo ísť o primordiálnu látku, ale aj o extrasolárnych sústavách, pretože vďaka HST a Spitzerovmu ďalekohľadu boli pozorované asteroidálne pásy vyskytujúce sa aj pri iných hviezdach.

Sme na začiatku objavov objektov TNO. Veľký nástup techniky pracujúcej v IR oblasti a smerujúca sonda New Horizons môžu priniesť nové prekvapujúce objavy.

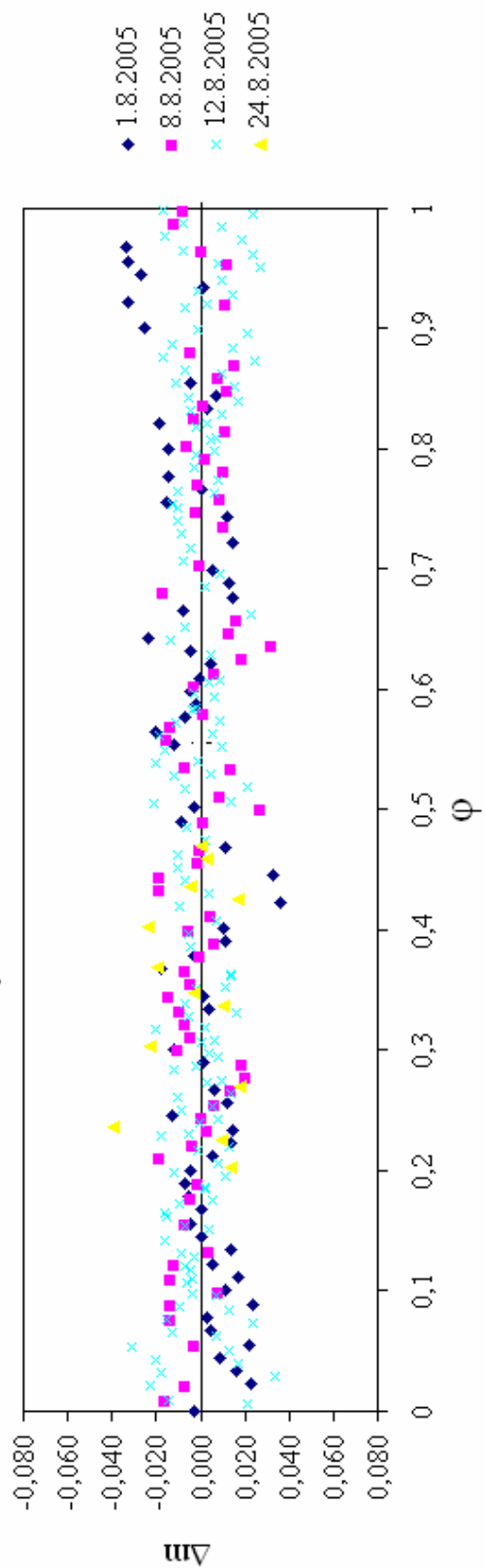
Na zasadaní IAU v Prahe bol urobený prvý krok ku kategorizácii objektov v slnečnej sústave, pričom k dopĺňaniu a k spresňovaniu je nevyhnutný ďalší prieskum. Mojou prácou som chcel urobiť k tomu malý krôčik.

## Grafická příloha

### Fázová křivka

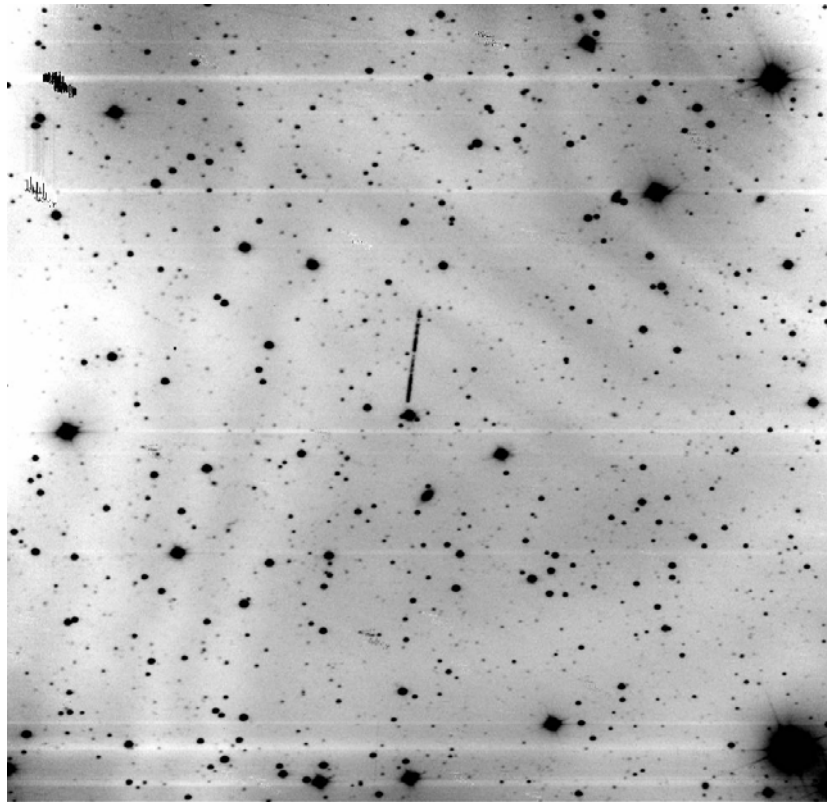


### Hodnoty reziduí vzhľadom fitovanej křivky

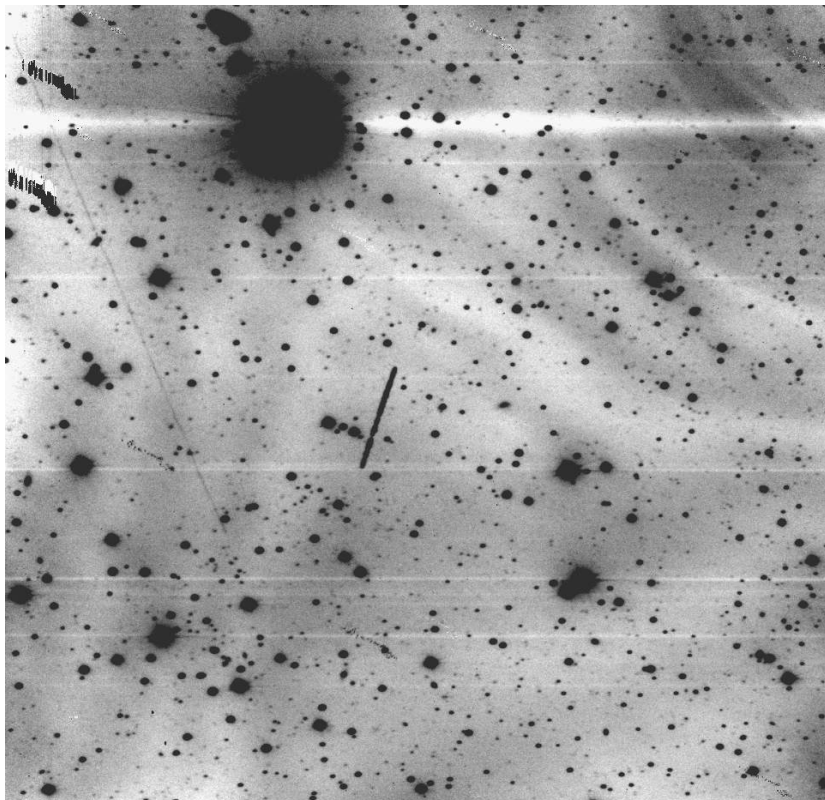


## Grafická príloha - FOTOGRAFIE

Noc 1/2.8.2005:

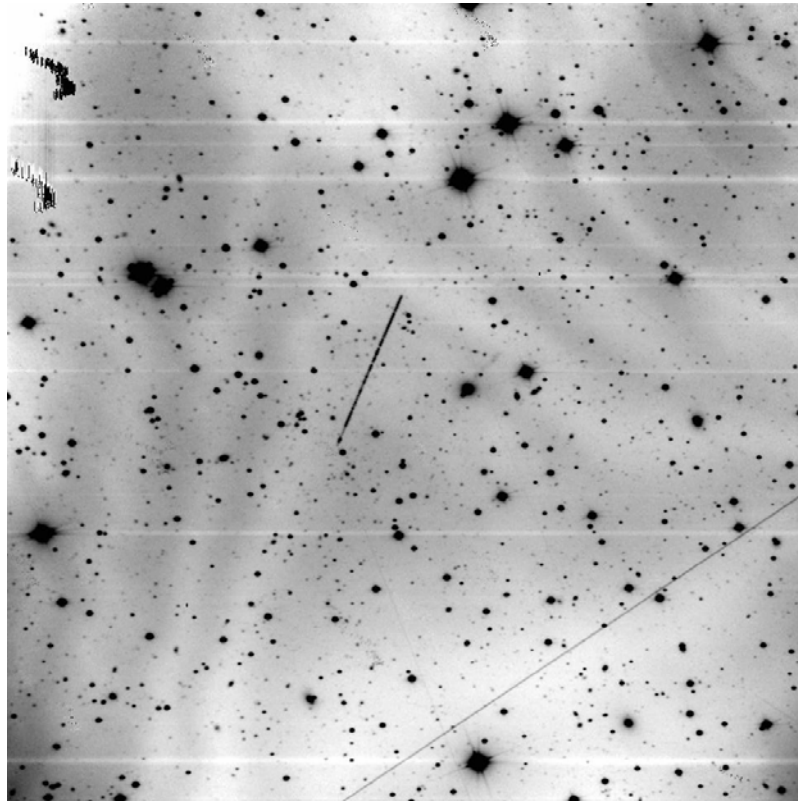


Noc 8/9.8.2005:

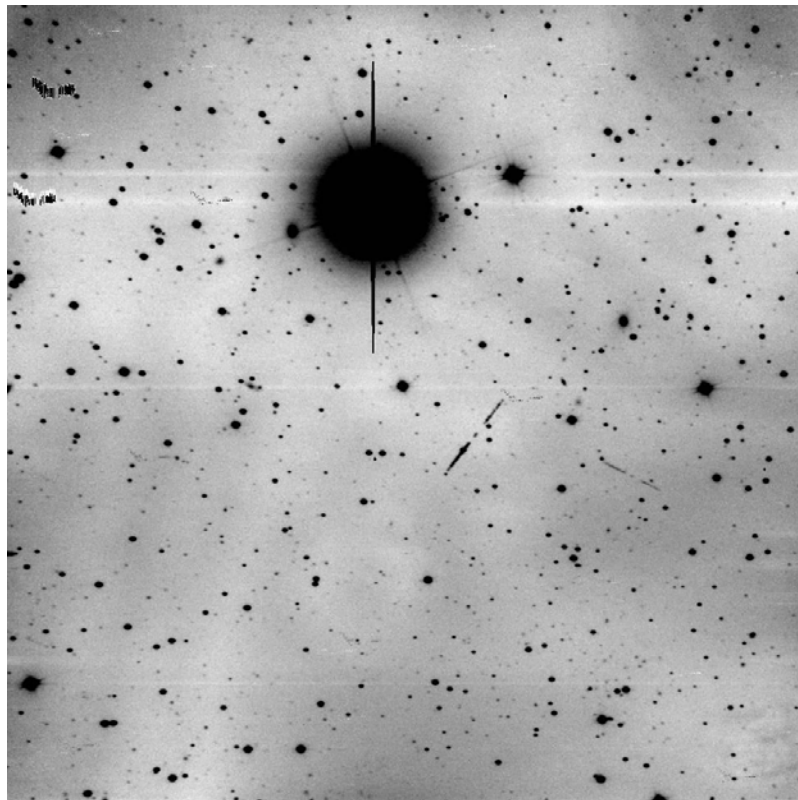




Noc 12/13.8.2005:



Noc 24/25.8.2005:



## Použitá literatúra

### Knihy:

- [1] Romanishin W.: *An introduction to astronomical photometry using CCD*, 2002.
- [2] Martinez P. and Klotz A.: *A practical guide to ccd astronomy*: Cambridge: Cambridge University Press 2000
- [3] Kleczek J.a kol.: *Velká encyklopedie vesmíru*: Praha: Academia 2002
- [4] Kolektív: *Encyklopédia astronómie* Bratislava: Obzor 1987
- [5] Mikuláše Z.: *Obecná astronomie*. Študijný materiál
- [6] Pittich E. a kol.: *Astronomická ročenka 2006*, Slovenská ústredná hviezdáreň Hurbanovo 2005
- [7] Binzel R. P., Gehrens T., Matthews M. S.: *Asteroids II*, The university of Arizona press Tuscon.

### Časopisy

- [8] Pittich E.: Dynamika komét a asteroidov: *Kozmos*, roč. 2003, č. 4
- [9] Novocký D. .: Najlenivejšie asteroidy: *Kozmos*, roč. 1987, č. 1
- [10] Hubble press Release: Kuiperov pás pri hviezde Fomalhaut: *Kozmos*, roč. 2005, č.5
- [11] Zigo P.: CCD kamera ST6 na observatóriu v Modre: *Kozmos*, roč. 1994, č. 5
- [12] Ivan P.: Príbeh jedného ďalekohľadu: *Kozmos*, roč. 2001, č. 6
- [13] Grygar J.: Žeň objavú 1998 -XXXIII: *Kozmos*, roč. 1999, č. 3
- [14] Grygar J.: Žeň objavú 1999 -XXXIV: *Kozmos*, roč. 2000, č. 4
- [15] Grygar J.: Žeň objavú 2000 -XXXV: *Kozmos*, roč. 2001, č. 4
- [16] Grygar J.: Žeň objavú 2001 -XXXIV: *Kozmos*, roč. 2002, č. 6
- [17] Grygar J.: Žeň objavú 2003 -XXXVIII: *Kozmos*, roč. 2005, č. 4
- [18] Tichá J.: Děsně moc planetek: *Kozmos*, roč. 2001, č. 1
- [19] Shiga D.: Aging Asteroids Get Sunburned : *Sky & Telescope* , roč. 2004, č. 10
- [20] Naeye R.: Asteroids Tell Tale of Jupiter's Migration : *Sky & Telescope* , roč. 2005, č. 1

[21] Naeye R.: An Exo-Asteroid Belt : *Sky & Telescope* , roč. 2005, č. 8

[22] Beatty J. K.: Falcon's wild flight : *Sky & Telescope* , roč. 2006, č. 9

#### Články

[23] Birlan M., Barucci M.A., Fulchignoni M.: G-mode analysis of reflection spectra of 84 asteroids: *Astronomy and Astrophysics* , roč. 1995-305, str. 984-988

[24] Husárik M.: CCD fotometria asteroidov (787) Moskva, (1095) Tulipa a (1257) Mora: *Meteorické správy*, roč. 2004-25, str. 45-51

[25] Kiss, Szabo G., Sárneczky K.: CCD photometry and new models of 5 minor planets: *Astronomy and Astrophysics* , roč. 1999-140, str. 21-28

[26] Reddy V., Gaffey M.J., Abell P.A., Hardersen P.S.: COMPOSITIONAL INVESTIGATION OF NEAR-EARTH ASTEROIDS 6456 Golombek, (5660) 1974 MA,(13553) 1992 JE.: *Lunar and planetary science* (2006) 37-1746.

#### Internet

[27] <http://www.minorplanetobserver.com>

[28] <http://en.wikipedia.org/>

[29] <http://adsabs.harvard.edu/>

[30] <http://www.astro.cz/planetky/>

[31] <http://www.springerlink.com/>

[32] <http://ccd.mii.cz/>

[33] <http://www.observatory.ou.edu/>

[34] <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/>

[35] <http://www.alpheratz.net/murison/asteroids>

[36] <http://earn.dlr.de/nea/006456.htm>

[37] <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=6456;orb=1;cov=0#orb>

[38] <http://68.4.248.85:800/observatory/asteroid/rotation.html>

[39] <http://www.ian.cz>

[40] <http://cfa-www.harvard.edu/iau/LightcurveDat.html#QNote3>