

# DIPLOMAMUNKA

Székely Péter

2004.

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar

Kísérleti Fizikai Tanszék

Csillagász szak

DIPLOMAMUNKA

Alulészlelt kisbolygók CCD-fotometriája

Székely Péter

Témavezető: Dr. Kiss L. László

Konzulens: Dr. Kiss L. László

2004.

## Összefoglaló

Diplomamunkám célja, hogy bemutassa a tudományos célból végzett észlelés szempontjából elhanyagolt, vagy nem vizsgált **kisbolygók**on az elmúlt években végzett fotometriai méréseimet és azok eredményeit.

Megfigyeléseim során számos aszteroidáról vettem fel **fotometriai adatsort**, melyek felhasználásával több esetben sikerült meghatározni a **forgási periódusukat** és a későbbiekben, reményeim szerint elvégzendő méréseimmel kiegészítve, lehetővé válik majd a hozzávetőleges **alakmodellek elkészítése**.

A méréseket 2000 októbere és 2002 augusztusa között végeztem, összesen 37 éjszakán. Ezen vizsgálatok során 10514 mérési pontot vettem fel, de az elkészített CCD-felvételek száma ennél több, ugyanis ez a szám nem tartalmazza a flatképeket és a különböző okokból használhatatlannak bizonyult képeket. 138 kbyte-os képméretet véve a feldolgozott adatok terjedelme meghaladja az 1,3 Gbyte-ot.

A munkám során elsődlegesen használt műszer a Szegedi Csillagvizsgáló 40 cm-es, nemrégiben felújított Cassegrain-távcsöve volt, és az arra szerelt Santa Barbara Instruments Group Inc. ST-9E típusú CCD-kamera. Ezenkívül a Magyar Tudományos Akadémia Konkoly-Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézetének piszkéstetői 0,6/0,9/1,8 m-es Schmidt-távcsövével és Photometrics AT-200 kamerájával dolgoztam.

Diplomamunkám első részében ismertetem a kisbolygók fotometriai mérésének fontosságát, ezután kitérek a mérések tervezésére, az azoknál adódó buktatókra, valamint az adatfeldolgozás mikéntjére. A következő fejezetben részletesen beszámolok vizsgálataim eredményeiről, legvégül összefoglalást készítek az elvégzett munkáról. A diplomamunka mellékletében megtalálhatóak az adatok feldolgozása során használt programok forráskódjai, valamint az összes mérésből származó fénygörbe is.

# Tartalomjegyzék

<b>1. Célkitűzések</b>	<b>5</b>
<b>2. A mérések tervezése</b>	<b>8</b>
2.1. Mit és hogyan észleljek? . . . . .	8
2.2. Az adatok feldolgozása . . . . .	9
<b>3. Elért eredmények</b>	<b>11</b>
3.1. Kisbolygók . . . . .	11
3.2. Egyéb eredmények . . . . .	21
3.2.1. A 360 Carlova - HIP 9975 okkultációja . . . . .	21
3.2.2. A GSC 2127–0056 fényváltozása . . . . .	22
<b>4. Mérési adatok</b>	<b>24</b>
<b>5. Összefoglalás</b>	<b>27</b>
<b>6. Köszönetnyilvánítás</b>	<b>28</b>
<b>A. Mellékletek</b>	<b>29</b>
A.1. Az adatok feldolgozása . . . . .	29
A.2. A medián képzése . . . . .	30
A.3. Fluxus azonos szintre hozása . . . . .	35
A.4. Összes mérés fénygörbéje . . . . .	37

# 1. Célkitűzések

Több, mint 200 éve, hogy a palermói Giuseppe Piazzi csillagkatalógus készítése közben rábukkant egy elmozduló objektumra, amelyet ma az 1-es sorszámú Ceres nevű kisbolygóként ismerünk. Akkoriban a Naprendszer elképzelt szerkezete sokkal egyszerűbb volt az addig ismert 7 bolygóval. Az azóta eltelt két század számos új és az addigi ismereteket alaposan módosító felfedezéssel gazdagította a szűkebb kozmikus otthonunknak nevezhető Naprendszeréről alkotott világgépünket. Elég csak megemlítenünk a Kuiper-övet, a több száz csillagászati egységnyi afélium ponttal rendelkező tagjaival, vagy akár az Oort-felhőt a milliárdnyi fagyott üstökös-maggal.

Tény, hogy az Univerzum tőlünk távol eső részei titkainak kifürkészésén túl továbbra sem szabad elhanyagolni a Naprendszer kutatását, már csak azért sem, mert a média által oly felkapott téma – a Föld és egy kisbolygó esetleges ütközése – szakavatott, biztos kezeléséhez pontos pályaszámításokra és a potenciális veszélyt jelentő objektumok felfedezésére, nyomon követésére feltétlen szükség van. Bolygórendszerünkről alkotott árnyalt és kifi nomult képünk tudományos megértéséhez ezért is elengedhetetlen a kisbolygók kutatása.

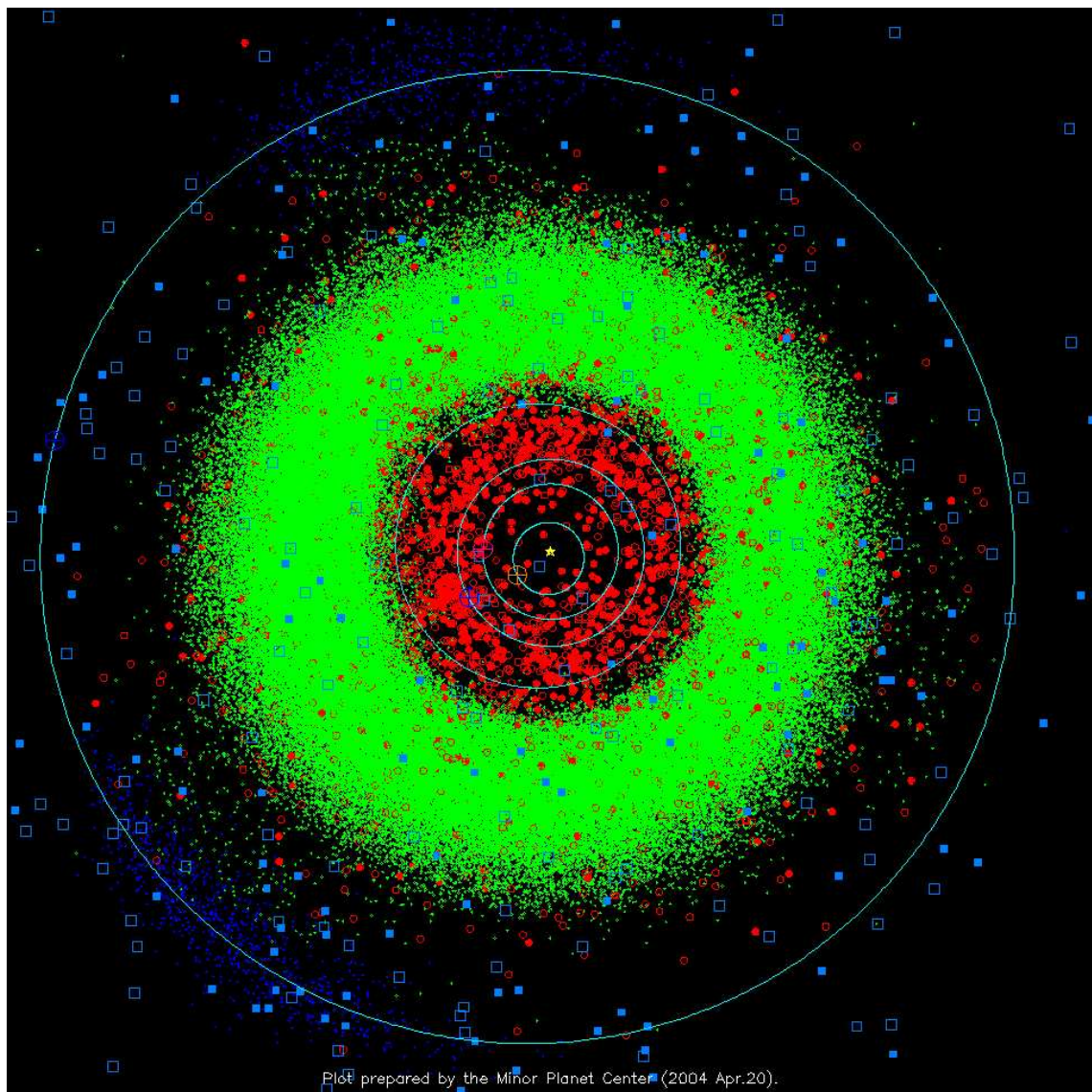
Naprendszerünk ezen kis égitestjeinek döntő többsége a Mars és a Jupiter pályája között kering, átlagosan 2-5 csillagászati egységre központi csillagunktól. Ezek a fővbeli kisbolygók. Az 1. ábrán, amely a Minor Planet Center honlapjáról származik, a sorszámozott kisbolygók láthatóak. Minden apró pötty egy-egy aszteroidát reprezentál. Látható, hogy a két említett bolygó közötti térség csillagászati mértékben zsúfoltnak tekinthető.

Jelen dolgozatomban szereplő vizsgálataim az úgynevezett fővbeli kisbolygókra vonatkoznak. Ezek az égitestek több nagyobb méretű, a Jupiter erős gravitációs perturbációi miatt nagybolygóvá soha össze nem állt bolygócsíra építőanyagaiból keletkeztek. Az aszteroidák különböző családokba sorolhatóak. Ezen osztályozás alapja a családhoz tartozó égitestek bizonyos paramétereinek – például a pálya fél nagytengelyének nagysága, az inklináció mértéke stb. – hasonlósága. A család névadója legtöbbször az elsőként felfedezett ilyen tulajdonságú égitest. Az utóbbi években nagyarányú kutatás indult meg a Naprendszer külső tartományait benépesítő objektumok területén. A jövőben, amennyiben lehetőségem nyílik nagyobb távcsöveket használni, vizsgálataimat én is szeretném kiterjeszteni ezen égitestekre. /KBO, azaz Kuiper Belt Object/ Az úgynevezett TNO-k, azaz Trans Neptunian Object-ek száma ma (2002. november 13.) már 617, plusz a Plútó és Charon, valamint 7 darab kettős TNO. A Kentaurok, illetve SDO-k (Scattered Disk Object) száma 122. <sup>1</sup>

Újabb megfigyelési és statisztikai vizsgálatok szerint a Naprendszerben hozzávetőleg tízmillió olyan kisbolygó található, melynek mérete eléri a 30 métert és keresztezheti a Föld

---

<sup>1</sup><http://www.boulder.swri.edu/ekonews/>



1. ábra. A Naprendszer belső vidéke

pályáját.<sup>2</sup> Ez a méret a jelentős, szerencsére csak természeti és nem emberi katasztrófát okozó 1908-as híres Tunguz-meteorit karakterisztikus méretével vethető össze. Jelen dolgozatomban azonban hétköznapiabb területen végzett munkámat mutatom be.

A nagy égboltfelmérő és automatikus kisbolygó-kereső programoknak köszönhetően elképesztő ütemben gyarapodik az ismert aszteroidák száma. Havonta néhány ezer új objektummal gyarapszik a felfedezett kisbolygók listája, azonban a pályaelemek és a fizikai paraméterek pontosítása erősen lemaradva követi csak a felfedezéseket és ez a tendencia egyre erősödni látszik. Az ideiglenes elnevezést kapott égitest optimális körülmények közt pontos pályaelemeket, így sorszámot, kivételesen gyors esetben nevet kap, majd leggyakrabban eltűnik az elektronikus katalógusok mélyén anélkül, hogy valódi fizikai tulajdonságairól

<sup>2</sup>[http://echo.jpl.nasa.gov/otsro/KY26/JPL\\_press\\_release.text](http://echo.jpl.nasa.gov/otsro/KY26/JPL_press_release.text)

egzakt képet kaphatnánk.

Már egy a nyugati körülményekhez viszonyított szerény távcsővel és CCD-kamerával több száz kisbolygóról végezhetünk komoly tudományos eredményekkel kecsegtető vizsgálatokat. Jelen munkám célja ezen tudományos tevékenység során nyert eredmények bemutatása.

Jelenleg több, mint 50.000 sorszámozott aszteroidát ismerünk, de legtöbbjükéről a pontos pályaelemeken kívül nem áll rendelkezésre bővebb információ. A változócsillagok területén alkalmazott egyszerű apertúra fotometria a kisbolygók kutatásának területén is számos tudományos szempontból értékes eredményt nyújthat.

A kapott fénygörbe alakja árulkodik a forgási periódusról, a kisbolygó alakjáról, a forgástengely térbeli helyzetéről, annak esetleges precessziójáról, valamint elkészíthető az aszteroida alakmodellje is. Természetesen ez utóbbiak precíz meghatározásához számos, különböző ekliptikai hosszúságnál elvégzett mérésre van szükség (L.L. Kiss et al., 1999 és C.A. Angeli et al., 2001). Az alakmodellek elkészítése legegyszerűbb esetben egy háromtengelyű ellipszoid illesztéséből áll. A forgó ellipszoid különböző látóirányú vetületei okozzák a fényváltozást – amennyiben ezen változás okaként a napfényt reflektáló felület méretváltozását értjük.

A kis égitestek forgási periódusaira vonatkozó vizsgálatok fontos információkat nyújthatnak a kisbolygók populációján belüli ütközésekről és ezen keresztül magának a Naprendszernek az időbeli fejlődéséről (Fulchignoni et al., 1995) A kisbolygók feltételezett fényviszszaverő képessége (albedó) 0,02 és 0,6 közötti tartományban mozog (D illetve E osztály). Ez az érték a Földre vonatkoztatva 0,39. Az égitestek hipotetikus méretét alapvetően ez a paraméter határozza meg. A legutóbbi idők vizsgálatai szerint még mindig rendkívül bizonytalanok ezen elméleteink. A Stardust szonda által megvizsgált 5535 Annefrank kisbolygó reflexiós képessége a feltételezett érték fele, aminek következtében az objektum valódi mérete az elméletileg jósoltnak a kétszerese.

Ezek az eredmények alaposan módosíthatják a kisbolygók világáról alkotott szemléletünket. Elég csak arra gondolnunk, hogy ez mennyiben érinti a kisbolygók tömegét, sűrűségét, anyagi összetételét mind egyedileg tekintve, mind a Naprendszer egészére vetítve .

## 2. A mérések tervezése

Az Egyesült Államokban, Cambridge-ben működő, interneten keresztül elérhető Minor Planet Center <sup>3</sup> rendkívül sok hasznos információt biztosít a magát kisbolygók kutatására elszánó csillagász számára. Számomra a két legfontosabb szolgáltatás az efemeris generátor és a korábban már mások által vizsgált kisbolygók, valamint a fénygörbékből nyert rotációs periódus és amplitúdó adatok listája volt.

A fénygörbe adatok listáját tanulmányozva azonnal feltűnik a fi gyelmes szemlélőknek, hogy a vizsgált apró égitestek eloszlása rendkívül egyenetlen. Az első ezer sorszámozott, korán felfedezett, tehát viszonylag fényes kisbolygó közel 90 százalékanak fényváltozását alaposan tanulmányozták, a rotációt jellemző paraméterek nagy bizonyossággal ismertek (amplitúdó, forgási periódus). A nagyobb sorszámú, később, fotográfikus úton felfedezett égitestek közül egyre kevesebb szerepel a listán, illetve ahogy a magasabb sorszámok felé haladunk a forgási paramétereket egyre nagyobb bizonytalanság terheli. Ezek a pontatlanságokat négyfokozatú skálán osztályozzák:

1. Az eredmények töredékes fénygörbén alapulnak s így teljesen rosszak is lehetnek.
2. A paramétereket nem a teljesen lefedett fénygörbe alapján határozták meg, ezért a periódust akár 30 % hiba is terhelheti.
3. Bizonytalanságok nélküli stabil eredmény a fénygörbe teljes lefedettségével.
4. Az előbbieken kívül a forgástengely helyzete is adott.

A periódusokat órákban mérve három tizedesjegy erejéig szokás megadni.

Már két évvel ezelőtt – amikor elhatároztam, hogy a Naprendszer apró égitestjeinek kitüntetett fi gyelmet szentelek – világos volt számomra, hogy a fotometrialig alig, vagy egyáltalán nem vizsgált kisbolygók fontos és aránylag nagy részt kapnak kutatási profi lomból. Ennek megfelelően állítottam össze észlelési terveimet.

### 2.1. Mit és hogyan észleljek?

A rendelkezésemre álló műszeregyüttes – távcső + CCD-kamera – egyértelmű választ adott erre a kérdésre. Az egyetemi csillagvizsgáló 40 centiméteres Cassegrain-távcsöve, az SBIG ST-9E kamera 6 × 6 ívperces látómezejével és a felújított Fornax gyártmányú, német ekvatoriális szerelésű mechanika korlátozott megbízhatóságú vezetésével megszabta a határokat.

---

<sup>3</sup><http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>



Az izgalmasnak ígérkező „14+” magnitúdós tartomány küszöbénél kellett megállni: az adott feltételek mellett 60, esetleg 90 másodperces expozíciós időkkel az említett fényességű aszteroidákról készített képeken a jel/zaj viszony 2-3 körüli érték volt.

A piszkéstetői Schmidt-távcső a  $29 \times 18$  ívperces látómezőnek, a  $-40$  °C-ra hűtött kamerának és a kitűnő vezetésnek köszönhetően minden kisbolygót követő csillagász igényének megfelel: 15-16 és még halványabb magnitúdó tartományban rendkívül sok fotometriailag egyáltalán nem vizsgált aszteroida létezik.

A méréseim előzetes tervezésekor egész éjszaka során elegendően magasan látszó, megfelelően fényes objektumokat kerestem. (Piirone, 1990.; Pravec et al., 2001.) A keresésben az MPC adatain kívül a ProjectPluto Guide 6.0 és 7.0 csillagászati programra támaszkodtam, amely a Hubble Űrtávcső számára készült Guide Star Catalog nevű csillagkatalógust jeleníti meg grafikus formában. A mérés tervezésekor ügyelni kell, hogy a fenti kívánalmakon túl a kisbolygó látszó mozgása ne legyen túlságosan nagy, illetve e mozgás során lehetőleg minél kevesebb állócsillag képén haladjon keresztül. A túl nagy elmozdulás „elkent” profi lokat okoz és az éjszaka közben fellépő több látómezőnyi elmozdulás miatt nehéz minden felvételen látható összehasonlító, ellenőrző csillagot találni (K. Sárneczky et al., 1999). Ez utóbbi jelenség főként a szegedi távcsőnél okozhat kellemetlenségeket. Többek között ezért is hiányzanak méréseimből a nagy látszó elmozdulással bíró földszíroló kisbolygók.

A kisbolygók jelentős hányada alacsony inklinációjú pályákon kering a Nap körül, ezért főként az ekliptika környékén összpontosulnak. A nyári hónapok éjszakáin végzett mérések alatt a Nap látszó pályája belemetsz a Tejút csillagokkal zsúfolt mezőibe, megnehezítve ezzel a CCD-képek feldolgozását a sok látszólagos okkultáció miatt. E jelenség kiküszöbölésére külön eljárás kidolgozása vált szükségessé, melynek ötlete Szabó Gyula okleveles csillagász, PhD ösztöndíjas hallgatótól származik. Részletes leírása a későbbiekben következik.

## **2.2. Az adatok feldolgozása**

Egy éjszaka során tipikusan 400 felvételt készítettem el, amelyek feldolgozása manuálisan történt. Ennek oka részben a vizsgált objektum elmozdulása, másrészt a gyorsabb eredmény elérése volt. A CCD felvételeken található – hullámoptikai megfontolásokból soha nem pontszerű – égi objektum fényességének meghatározására több módszer is szolgálhat. A kisbolygók elmozdulása miatt az illesztéses (PSF – point spread function) fotometria nem használható, ugyanis az intenzitás–profilra illesztett haranggörbe erősen torzulhat. Ennek térbeli megforgatása és a bezárt „térfogat” integrálása után nem kapunk pontos eredményt. Célravezetőbb ilyenkor az egyszerűbb megoldások választása.

Az apertúra fotometria során a mérendő kisbolygó képére néhány pixel sugarú, kör alakú „nyíllást” illesztünk, majd összegezzük az ezen belüli pixelek intenzitását. Ezt a folyam-

atot elvégezzük az összehasonlító és az ellenőrző csillagokra is. Ezt a munkaszakaszt a UNIX/Linux alatt futó, népszerű Image Reduction and Analysis Facility (IRAF) programcsomag quickphot taszkjával végeztem. Az illesztett apertúra méretét illetően fi gyelembe kellett venni, hogy túl kicsi nyílás esetén a vezetés pontatlansága miatt szétkent kisbolygó profil egy része lemaradhat, másrészt a kelletténél nagyobb apertúra esetén a szomszédos csillagok pixelei is bekerülhetnek az apertúrába. Tipikusan alkalmazott érték volt a 6 pixel sugarú környílás.

A kezdeti nehézségek után a kiértékelés sebessége elérte a 250-300 kép/órát. A kinyert instrumentális relatív magnitúdók egy fájlba kerültek, hasonlóan a felvételek készítésének Julián-dátuma. Egy általam írt, körülbelül 60 soros, rövid C nyelvű program végezte el a magnitúdó különbségek képzését, valamint ezek összepárosítását a megfelelő időponttal, majd az eredmény szintén egy fájlba került. A kétoszlopos egyszerű adatfájl ábrázolására a Linux alatt használható Grace nevű alkalmazást használtam. A kompozit fénygörbék elkészítésére az apc11 nevű /Asteroid Photometric Catalogue Software 1.0/, DOS-os használatra írt programot szintén Linux alatt futtattam. A periódus meghatározát ezen alkalmazás segítségével úgynevezett fázisdiszperzió-minimalizációs módszerrel (PDM) végeztem. Az eljárás lényege, hogy a helyes periódussal elkészített fázisdiagramon az adatok szórásának minimuma van.

A heliocentrikus ekliptikai koordináták kiszámítására írtam egy kis C nyelvű szkriptet, ami a szükséges adatokat a Guide szöveges állományba elmentett információból veszi. Gyakran szükségessé vált a sok mérési pont átlagolása, a csillagászatban gyakran használt medián képzésére szintén egy C-ben írt program szolgált.

Méréseim becsült fotometriai pontossága az alkalmazott műszeregyüttes és a légkör állapotának függvénye. A szegedi körülményekre a 0,05–0,2, a piszkéstetői felvételekre 0,02–0,05 magnitúdó volt a jellemző érték.

A fényváltozás amplitúdójából egyszerű modell segítségével lehet következtetni a kisbolygó hozzávetőleges alakjára. A számítások során feltételezzük, hogy az aszteroida alakja kéttengelyű ellipszoiddal közelíthető, forgástengelye a látóirányunkra merőleges és a detektált fluxus a megvilágított felülettel arányos.

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \log \frac{F_1}{F_2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{ab\pi}{b^2\pi} = \frac{a}{b}$$

$$\frac{a}{b} = 10^{-\frac{A}{2,5}}$$

$$A = m_1 - m_2$$

A a fényváltozás amplitúdója, F a fluxus, ami az ellipszoidok t területével arányos, a illetve b az ellipszoid tengelyei. Pontos alakmodell elkészítéséhez természetesen több, külön-

böző ekliptikai hosszúságnál és oppozíciónál elvégzett mérésre és lényegesen bonyolultabb számításokra van szükség.

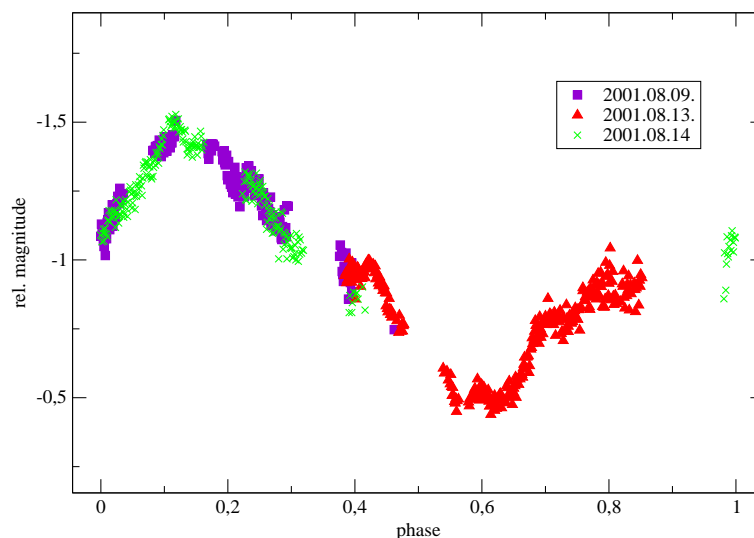
### 3. Elért eredmények

#### 3.1. Kisbolygók

Az ismertett kisbolygók ebben a fejezetben bemutatott fénygörbéi mellett a mellékletben további fénygörbék találhatók meg, növekvő sorszám szerint rendezve. A feldolgozás során elért eredmények a harmadik táblázatban olvashatóak.

A négy szegedi éjszakán át mért **1400 Tirela** halványasága ellenére meglepő eredményt nyújtott a 40 centiméteres távcsővel. Sajnos a Tejút sűrű csillagmezőin való áthaladása miatt számos hézag tarkítja a fénygörbét, de ez nem csökkenti a kisbolygó – annak kompozit diagramjáról leolvasható – nagy mértékű fényváltozásának jelentőségét. Az aszteroida fénygörbéje nagy amplitúdójú fényességingadozást mutat, amire kisebb–nagyobb hullámok ülnek (2. ábra). A változás nagysága meghaladja az egy magnitúdót, ami kevés kisbolygónál mutatható ki. Az égitest 1:3 tengelyarányú ellipszoiddal modellezhető. A rövid nyári éjszakákon végzett mérések miatt azonban szükségesnek tartom a télen végzett fotometriai vizsgálatokat a teljes periódus lefedésének érdekében.

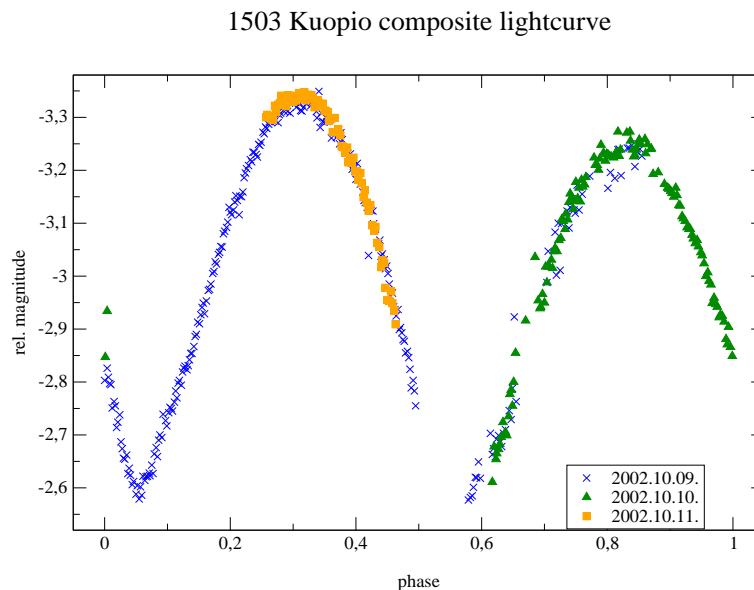
1400 Tirela composite lightcurve



2. ábra. Az 1400 Tirela kompozit fénygörbéje

A soron lévő mérés megközelíti az ideális obszerváció kritériumait. A kifogástalan égbolt és a kiváló műszer mellé nagy fényváltozást mutató aszteroida párosult, amely kedvező találkozás eredménye a 42. ábrán látható. A 3. ábrán egy kompozit diagram látható. Az **1503 Kuopio** nevű kisbolygó jó választásnak bizonyult. A 2001 őszén, Piskéstetőn

elvégzett mérések tekintélyes amplitúdójú, aszimmetrikus fényváltozást mutatnak. A fényváltozás 1:2 arányban elnyúlt égitest forgásával írható le. A 0,7 magnitúdónyi tartományt átívelő görbe szórása elhanyagolható.

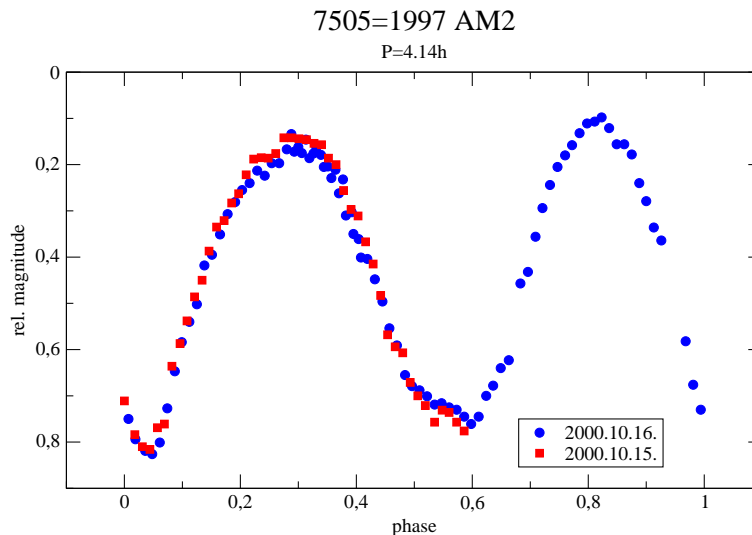


3. ábra. Az 1503 Kuopio kompozit fénygörbéje

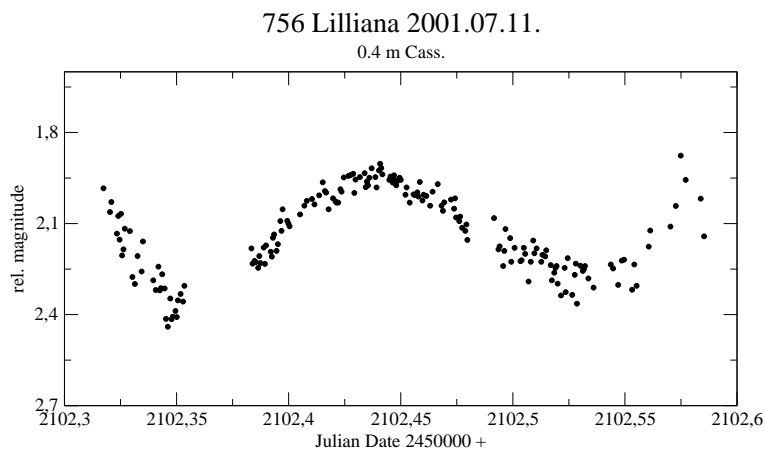
Bár a **7505=1997 AM2** jelzésű aszteroidát előttünk már mérték és periódusa, valamint nagy amplitúdójú fényváltozása már ismert volt, Piszkéstetőn mégis készítettünk róla felvételeket. A Minor Planet Center fénygörbe listáján 4,14 órás periódus szerepelt meglehetősen tekintélyes, 0,75 magnitúdós intenzitásváltozással. Méréseink is alátámasztották ezeket az adatokat, amint az a kompozit diagramon jól látszik (4. ábra). Azonban feltételezhető, hogy az illetett periódus nem jó, mivel könnyen lehetséges, hogy a görbe valójában nem kettő, hanem három púppal rendelkezik. A periódus pontosítására további vizsgálatok szükségesek. A megfi gyelt amplitúdóra 1:2 tengelyarányú ellipszoid rotációja adhat magyarázatot.

A **756 Lilliana** az első mért kisbolygók közé tartozik. A görbe vastagsága a szűrő alkalmazása miatti alacsony jel/zaj viszonyban tudható be (5. ábra). Mindenesetre jól nyomon követhető a több, mint fél magnitúdónyi változás és a nem szimmetrikus fénymenet. Az alakmodell elkészítéséhez későbbi vizsgálatok szeretnék végezni erről az objektumról. Első közelítésben 3:5 arányban elnyúlt alakkal rendelkezhet az objektum. Az észlelések elkészítésében nyújtott segítségéért köszönet illeti Mészáros Szabolcs évfolyamtársamat, aki két éjszakán végzett megfi gyeléseket.

A következő kisbolygót, a **7505=1997 AM2** és **5690=1992 EU** aszteroidákkal egyetemben 2000 őszén mértük Kiss Lászlóval és Sárnecky Krisztiánnal. Bár az **1270 Datura** és a másik két aszteroida vizsgálatára már előttünk történtek kísérletek, a mi méréseink is szolgáltak érdekességgel. Az MPC által közölt 0,41 magnitúdós amplitúdóval szemben a piszkéstetői észlelések 0,6 magnitúdós fényességváltozást sugallnak (6. ábra). A forgási



4. ábra. A 7505=1997 AM2 kompozit fénygörbéje



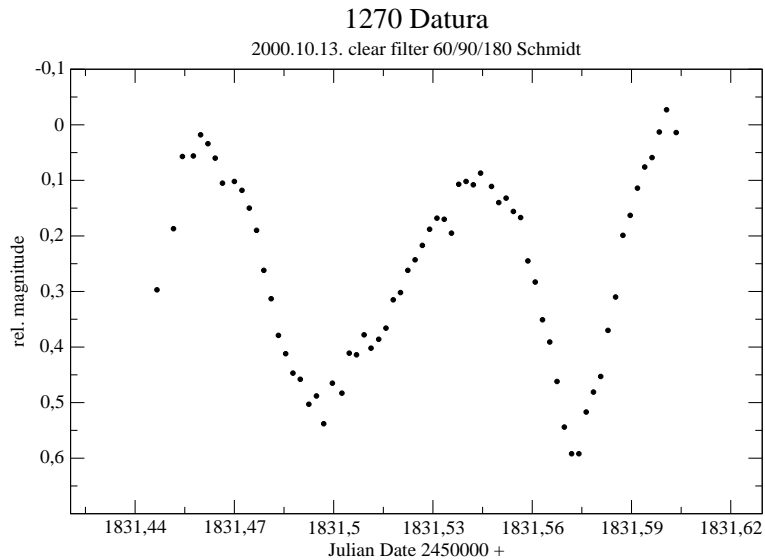
5. ábra. A 756 Lilliana fénygörbéje

periódus 3,36 órára tehető, míg a Minor Planet Center szerint ez 3,2 óra. Az intenzitás változására 5:9 tengelyarányú alak adhat magyarázatot.

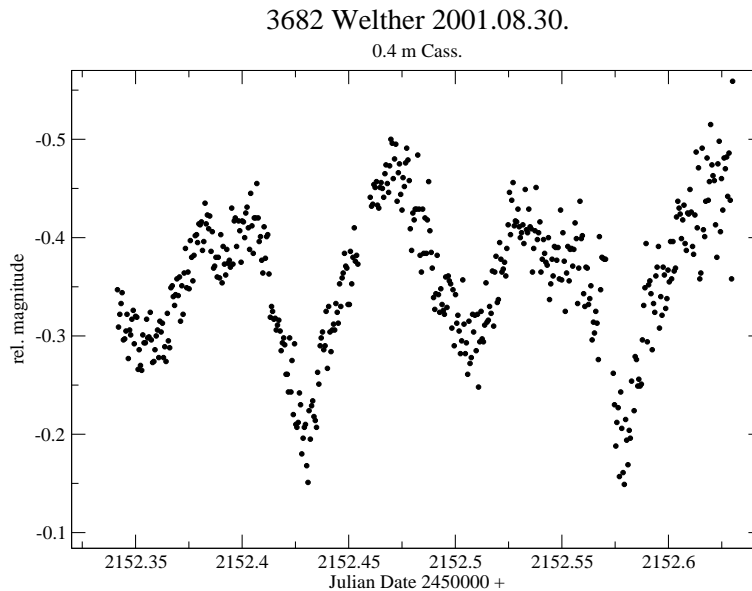
A **3682 Welther** kisbolygó fénygörbéjét tavaly augusztusban, illetve októberben vettem fel. Két éjszakán Szegeden, míg három éjszaka során Piszkéstetőn végeztem fotometriai vizsgálatokat az aszteroidáról. Az érdekes alakú, mély és hegyes főminimumokat mutató fénygörbét a 7. és 8. ábrán mutatom be. Az ondrejovoi obszervatórium honlapján szintén található fénygörbe az aszteroidáról, feltételezésük szerint az objektum kettős<sup>4</sup>. A piszkéstetői méréseimet a ködös, párás időjárás tette ilyen szaggatottá. Az égitest alakja hozzávetőlegesen 3:4 arányban elnyúlt ellipszoid.

Az **5690=1992 EU** sorszámú aszteroidát 2000 őszén mértük Piszkéstetőn. A két éjszaka eredménye a jól detektálható, több tizedmagnitúdós fényváltozás, azonban a periodicitás

<sup>4</sup><http://www.asu.cas.cz/~ppravac/welther.htm>



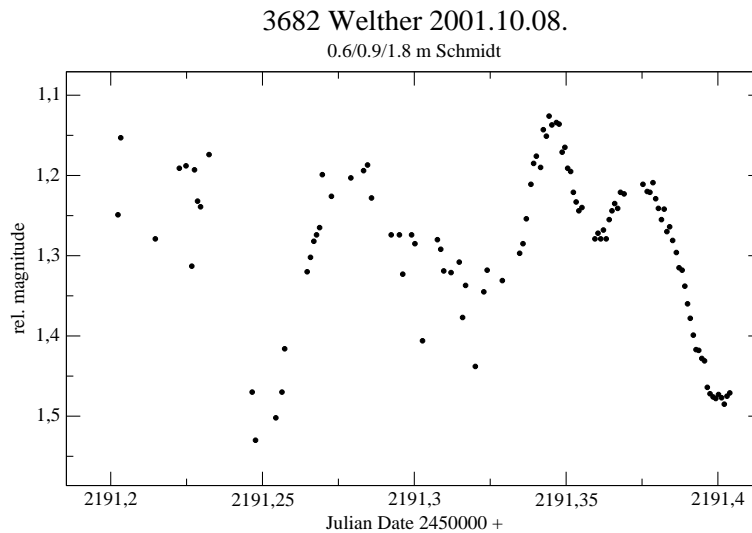
6. ábra. Az 1270 Datura fénygörbéje



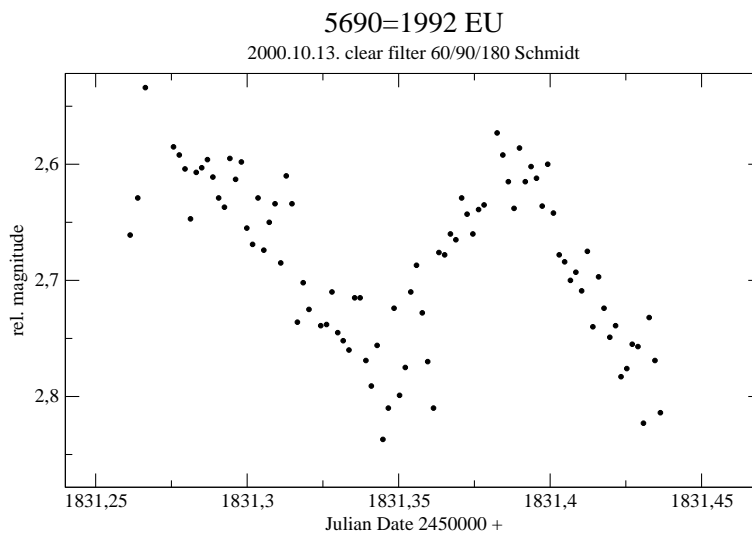
7. ábra. Az 3682 Welther fénygörbéje

létének, illetve pontos mértékének megállapításához kevésnek bizonyult a rendelkezésre álló idő (9. ábra). A fényességváltozás további vizsgálata szükséges ezen kis égitest esetében is.

A következő fénygörbe (10. ábra) első pillantásra is eredményes mérést mutat. A **6510 Tarry** kisbolygó kis mérete miatt valószínűleg kevésbé szabályos alakú és tapasztalataim szerint minél kisebb méretű az objektum, annál nagyobb valószínűséggel találunk nagy amplitúdójú, esetleg aszimmetrikus fényváltozást. Természetesen ezen megállapításom érvényesítéséhez hosszú távú, statisztikai jellegű adathalmazra is szükség van. Nincs kizárva, hogy az 1000 alatti sorszámú, tehát viszonylag fényes, de az MPC listájában nem szereplő kisbolygók többségét már mérték fotometriai úton, de az eredményül kapott lapos



8. ábra. Az 3682 Welther fénygörbéje

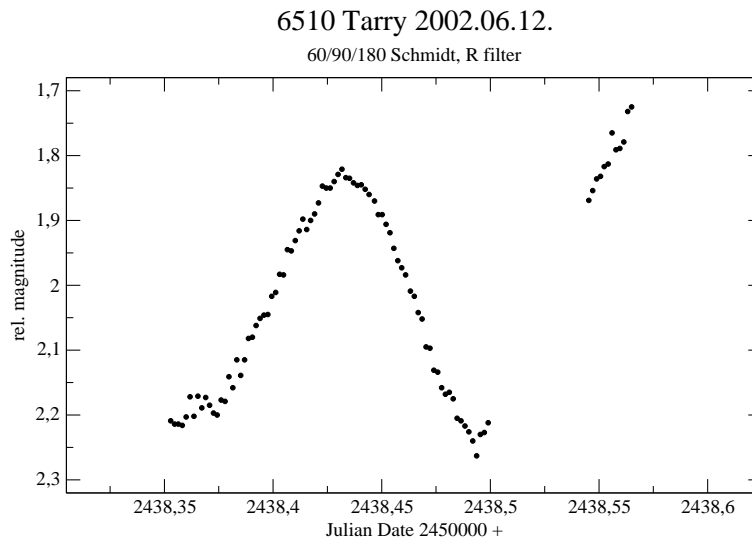


9. ábra. Az 5690=1992 EU fénygörbéje

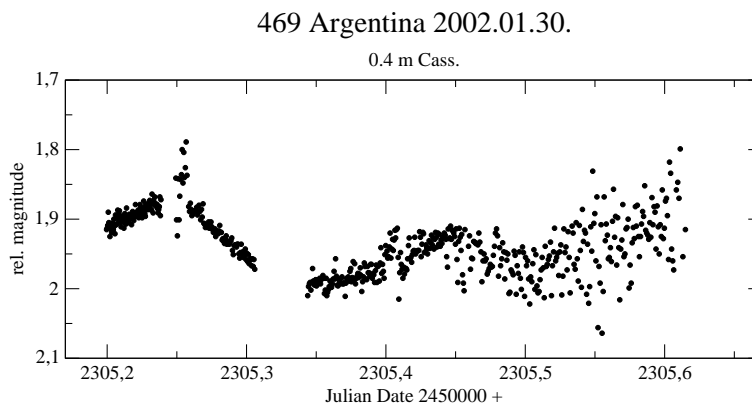
fénygörbék, vagy a nagy, csak sejtethető periódusok nem győzik meg a szerzőket az eredmények publikálásáról.

Mindenesetre ez a kisbolygó szép fényváltozást produkált ezen az egy végigmért éjszakán. A görbén látható űr csillaggal való összeolvadásnak tudható be. Az ábrán feltűnő az aszimmetrikus fényváltozás, amelynek másik ága nem látható teljes mértékben, mivel a hajnal erőteljes közeledtével be kellett fejeznünk a mérést, bármennyire is szeretnénk volna folytatni a felszálló ág követését. Mindenesetre az biztos, hogy a fényváltozás amplitúdója eléri a fél magnitúdót, így feltétlenül szeretnék további vizsgálatokat elvégezni erről a kisbolygóról, már csak a kompozit diagram elkészítése miatt is. Az amplitúdóra 3:5 tengelyarányú test forgása illeszthető.

2002. januárja nem biztosított túl sok derült éjszakát. A **469 Argentina** nevű aszteroida



10. ábra. Az 6510 Tarry fénygörbéje

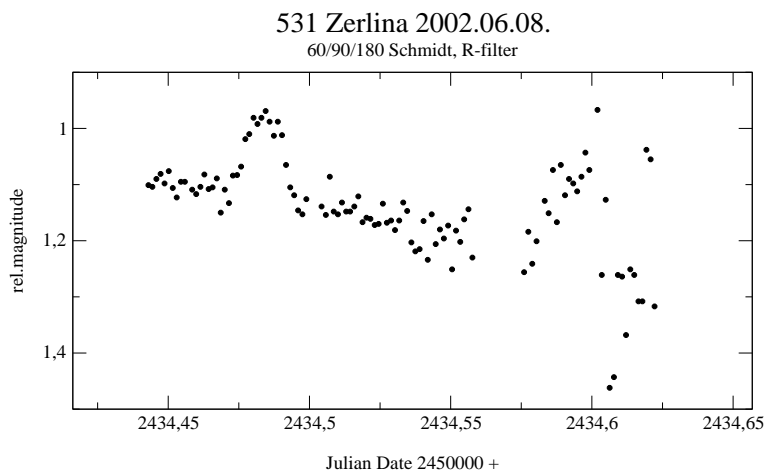


11. ábra. A 469 Argentina fénygörbéje

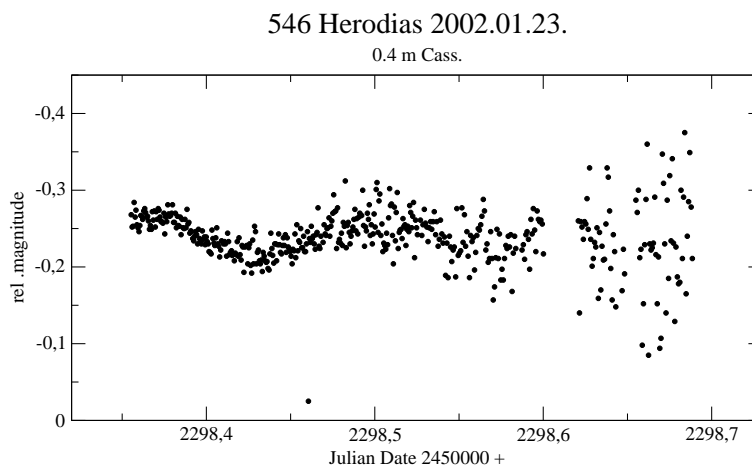
fénygörbéjének nagy szórása (11. ábra) tanúsítja a párás égboltot, ennek ellenére szépen kirajzolódik a mindössze másfél tized magnitúdónyi fényességváltozás. Az éjszaka második felében a rossz átlátszóság használhatatlan szélességűvé keni el a görbét. Érdekes felfigyelni a közel lineáris ágakra. A kis amplitúdóval jellemezhető fényváltozás további vizsgálatához nagyobb teljesítőképességű műszer és jobb légköri állapotok szükségesek. Első közelítésben a kisbolygó alakja 8:9 tengelyarányú ellipszoid.

Az **531 Zerlina** nevű aszteroida lassan, kis amplitúdóval változtatja fényességét (12. ábra). A bal szélén látható púp hamis, csupán csillaggal történő összeolvadás eredménye. Az ábra jobb oldalán a görbe erős kiszélesedése az égbolt állapotának és vele együtt a jel/zaj viszony gyors leromlásának tudható be. A rövid nyári éjszaka miatt – valójában nem is sötétedett be teljes mértékig, a horizont alatt végig sejthető volt a Nap fénye – a periódus megállapítása lehetetlen volt, talán egy hosszú, téli éjszakai mérés többet felfedne a kisbolygó fényváltozásáról.





12. ábra. Az 531 Zerlina kompozit fénygörbéje



13. ábra. Az 546 Herodias fénygörbéje

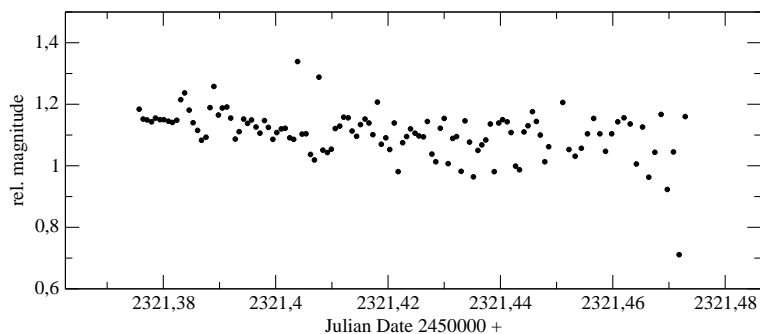
A két januári éjszakán mért **546 Herodias** kisbolygó fénygörbéire ráillenek az 469 Argentinánál említettek. A csupán egytized magnitúdóval jellemezhető, de jól definiált fényváltozás elmosódik a hajnali ködösség és a város reflexió miatti fénybűrése következtében (13. ábra). Jobb észlelési feltételek mellett minden bizonnyal meghatározható lenne az esetleges rotáció indukálta fényváltozási periódus.

A következő két görbe nem jelez jelentős fényváltozást. Az **549 Jessonda** csupán kismértékű elhalványodást mutatott a mérés 3 órája során, ami sajnos a kedvezőtlen időjárás miatti vastag szórással párosult (14. ábra). Az **551 Ortrud** néhány mérési pontja Piszkestetőn született egy rövid ködszünetet próbálván hasznosítani. Sajnos az időjárás nem tette lehetővé a kis égitest további tanulmányozását a fenn töltött egy hét alatt. Így ez a néhány mérési pont csupán a Schmidt-távcső hazai viszonylatban kimagaslóan jó paramétereit mutatja, amit a párás őszi ég ellenére elért néhány század magnitúdónyi szórás jelez (15. ábra).

A következő fénygörbén (16. ábra) látható meredek intenzitáscsökkenést a későbbi mérések során nem sikerült újra megfigyelni. A jelenségért talán a **894 Erda** jellemzője – a kisbolygó

549 Jessonda 2002.02.15.

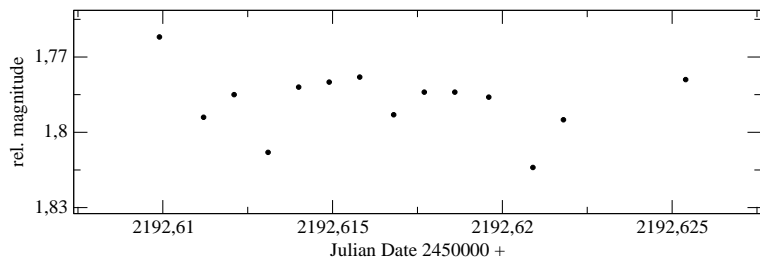
0.4 m Cass.



14. ábra. Az 549 Jessonda fénygörbéje

551 Ortrud 2001.10.09.

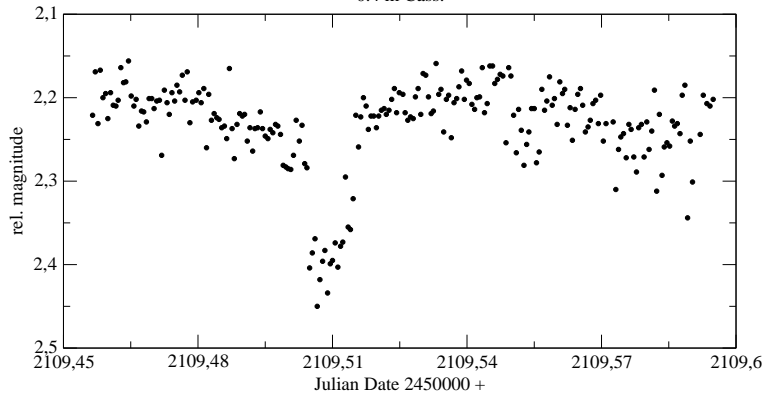
0.6/0.9/1.8 m Schmidt



15. ábra. Az 551 Ortrud fénygörbéje

894 Erda 2001.07.17.

0.4 m Cass.

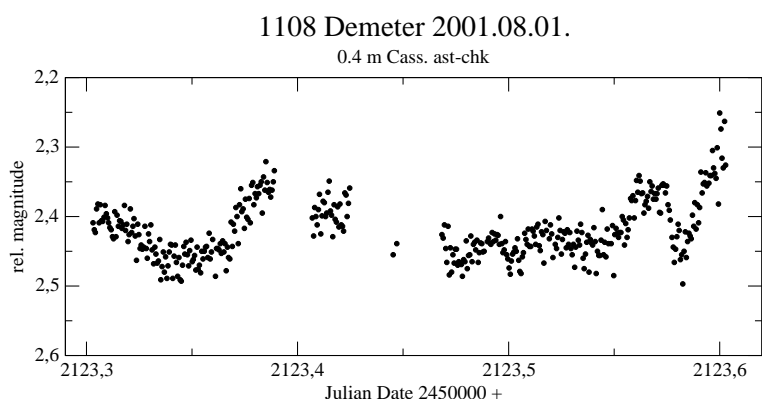


16. ábra. A 894 Erda fénygörbéje

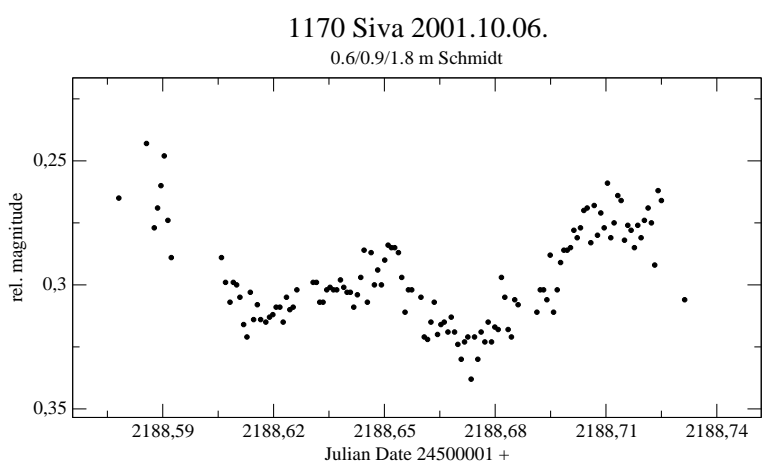
esetleges kettőssége – felelhet, vagyis épp egy sötétebb kísérő általi fedést sikerült megfigyelniük. Bár a későbbi vizsgálatok ezt nem erősítették meg, a lehetőséget nem zárhatjuk ki végérvényesen.

Az **1108 Demeter** fényváltozása a 17. ábrán jól követhető. A néhány tized magnitúdós amplitúdó sajnos nem párosul detektálható periodicitással, bár a mért intenzitás hullámzása minden éjszakán megfigyelhető. A 14 magnitúdónál is halványabb kisbolygó mérése sajnos

nagyon alacsony jel/zaj viszonytal terhelt, ráadásul a mezőcsillagokkal való összeolvadásnak betudható hézagok tovább csökkentik a görbe értékelhetőségét. Érdekességképpen megemlíthető, hogy az összehasonlítóként választott csillag változtatja a fényességét, mint az a későbbiekben kiderült. A mellékelt részfénygörbe alakjából pulzációra vagy kontakt ket-tőscsillag jellegre következtethetünk a változás okaként. Ez az eset is alátámasztja azt az követelményt, hogy minden kimérési munkaszakasznál minimum kettő, de inkább több csil-lagra végezzük el az apertúra fotometriát. A csillag azonosítója: GSC 2127–0056.



17. ábra. Az 1108 Demeter fénygörbéje

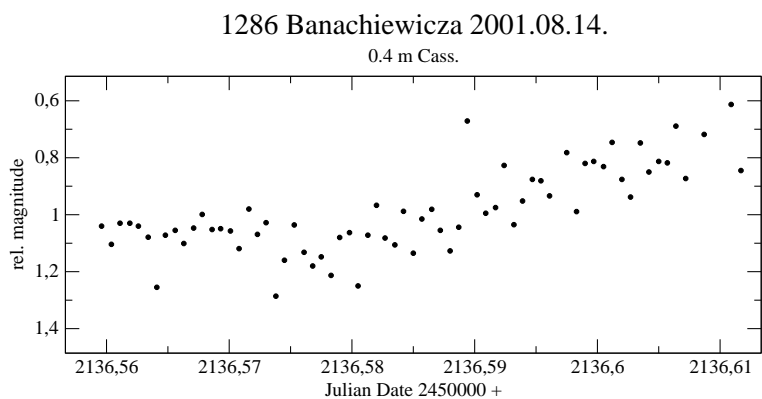


18. ábra. Az 1170 Siva fénygörbéje

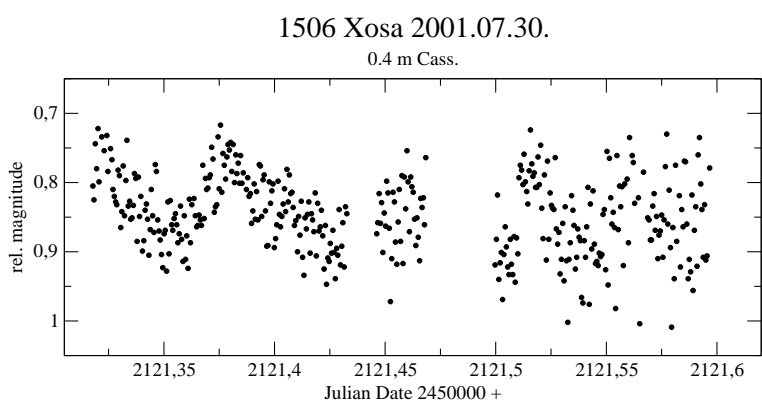
Az **1170 Siva** grafikonja (18. ábra) ismét demonstrálja a piszkésteői Schmidt-távcső kvalitását. Érdekes megemlíteni, hogy a mellékelt ábra teljes magassága mindössze 0,1 magnitúdó - mégis a kisbolygó fényváltozása egyértelműen azonosítható. A mérés szórása 0,02, azaz kétszázad magnitúdó! Sajnos az adott megfigyelési időszakban nem állt módunkban több mérést végezni erről a kis égitestről, csupán ez a néhány órás idősor mutatja a precessziót is sejtető fényváltozást.

Az **1286 Banachiewicz**-ről készült, mindössze egy órás adatsor nem fed fel sokat a kisbolygó fényváltozásából (19. ábra). A görbe emelkedésén – a tekintélyes szórás el-

lenére – látszik az emelkedő ág, ami az égitest esetleges periódikus fényesség változására utalhat. Sajnos a későbbiekben nem volt lehetőségem az aszteroida további fotometriai vizsgálatára, így ez az égitest is felkerült az alaposabb méréseket igénylő kisbolygókat tartalmazó listámra.



19. ábra. Az 1286 Banachiewicz fénygörbéje

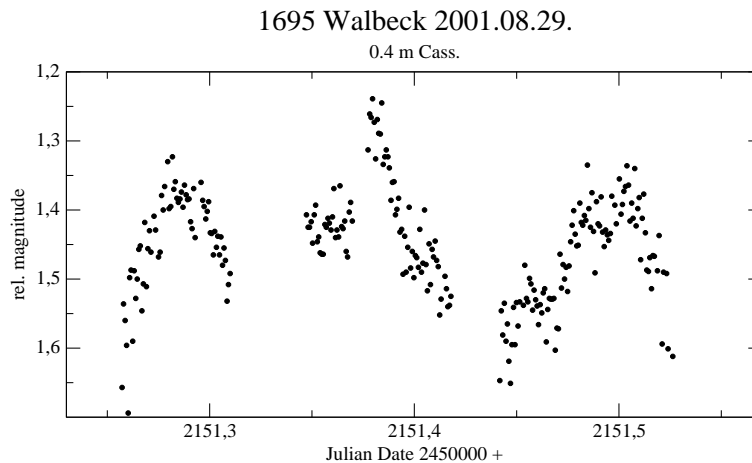


20. ábra. Az 1506 Xosa fénygörbéje

Az **1506 Xosa** mérése nem nyújtott a fényváltozás szempontjából pozitívan értékelhető eredményt. Három értékes éjszakát töltöttem ezen kisbolygó fotometriai vizsgálatával. Amint az a 20. ábrán is látható, a kisméretű égitest fényváltozása nem túl jelentős: a kéttizedes szórásból nehezen vehető ki értelmezhető periódus. Mindazonáltal sejthető némi szabályosság, így teljes bizonyossággal nem zárható ki a mérhető periodicitás megléte, amit egy esetleges - jobb feltételek mellett végzett - mérési sorozat alátámaszthat.

Az **1695 Walbeck** esetére az előzőekben említettek szinte szó szerint átvihetők. A 21. ábrán mintha három csúccsal rendelkező fényváltozás lenne felismerhető. Mindenesetre ezen kisbolygó megérdemelne egy nagyobb műszerrel történő alaposabb vizsgálatot.

A fenti eredményeket 2002 májusában, a horvátországi Višnjan-ban megrendezett Meeting on Asteroids and Comets in Europe, 2002 konferencián poszter formájában mutattam be.



21. ábra. Az 1695 Walbeck fénygörbéje

Az említett és más kisbolygók fénygörbéi - változócsillagok méréseivel egyetemben - megtalálhatók elektronikus formátumban a honlapomon. <sup>5</sup>

## 3.2. Egyéb eredmények

### 3.2.1. A 360 Carlova - HIP 9975 okkultációja

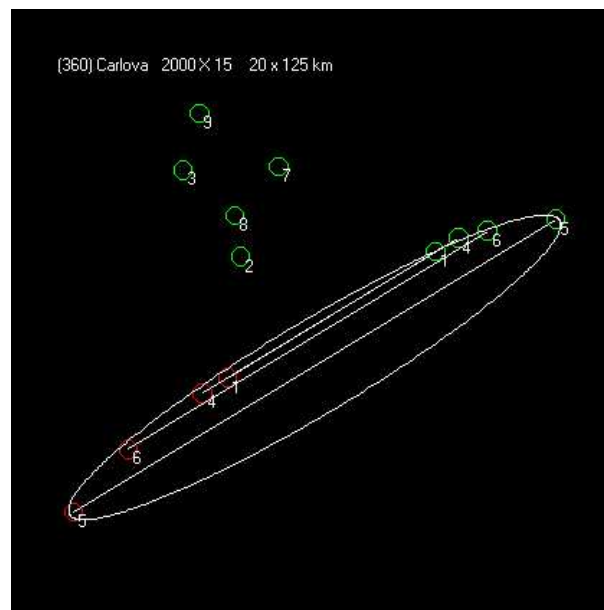
2000 októberében kedvező alkalom kínálkozott egy kisbolygó–csillag okkultáció magyarországi pozitív megfigyelésére. Ekkor nem csak a CCD képen látszanak összeolvadni a két égi objektum pixelei, hanem a valóságban is a megfigyelő és a távoli csillag közé kerül a kisbolygó, azaz „csillagfogyatkozásra” kerül sor. Esetünkben a 360 Carlova nevű kisbolygó fedte el a HIP 9975 katalógusszámú, 8,3 magnitúdós csillagot. Ebben az időszakban Kiss L. Lászlóval és Sárnecky Krisztiánnal Piszkestetőn tartózkodtunk, kisbolygók mérési programján dolgozva. A fedés előre kiszámított időpontja körül készítettünk egy 90 másodperc expozíciós idejű CCD-felvételt kikapcsolt órágéppel, ezért a csillagok hosszú nyomot hagytak a képen (22. ábra). A legfényesebb sávon látszik egy sötét szakasz, ami a sikeres megfigyelés ékes bizonyítéka! Az 1283 pixelnyi csillagnyom 3. harmadában egy 130 pixelnyi fedés látszik. A felvétel készítésének időpontjából kiszámítható volt az okkultáció bekövetkeztének pontos időpontja és a fedés hosszúsága is. Ezek szerint az esemény 1:12:50,3 UT-kor történt és 9,1 másodpercig tartott.



22. ábra. A 360 Carlova csillagfedése

<sup>5</sup><http://www.staff.u-szeged.hu/~pierre/meas.htm>

Sikerünkhöz az alapos tervezésen kívül számos külső körülmény szerencsés összjátékára is szükség volt, hiszen az ilyen előrejelzések elég nagy bizonytalansággal terheltek és az őszi időjárás is könnyen meghiúsíthatta volna terveinket. Mindenesetre nem ez történt, így másokéi mellett a mi megfi gyelésünket is felhasználhatták a kisbolygó alakjának modellezésére. Ezek alapján az aszteroida meglehetősen elnyúlt alakú, mintegy 1:6 arányban (23. ábra). A rajz az eltérő földrajzi helyen lévő megfi gyeők pozitív észleléseinek időtartamaiból származó alakot mutatja (piros körök). A különálló zöld körök sikertelen megfi gyelést reprezentálnak. Természetesen az alak így nem határozható meg túl nagy pontossággal, ehhez nagyon sok, különböző helyeken történő észlelésre, majd a földrajzi koordináták és az esemény időpontjainak összevetésére lenne szükség.



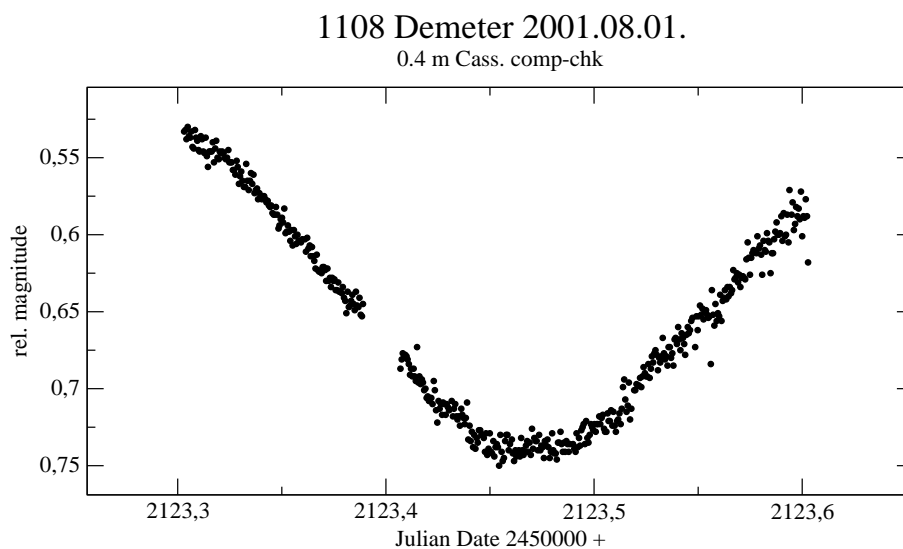
23. ábra. A 360 Carlova alakmodellje

### 3.2.2. A GSC 2127–0056 fényváltozása

Kisbolygók fotometria megfi gyelésénél számos más égi objektumot is rögzítünk a CCD-kamerával. A sikeres mérés feltétele, hogy legyen a képen néhány, a kisbolygó intenzitásával egy nagyságrendbe eső intenzitású csillag is, amihez képest a differenciális fotometriát elvégezhetjük. Halvány aszteroidák vizsgálatánál a megfelelő jel/zaj viszony eléréséhez viszonylag nagy – tipikusan 30-90 másodperc – expozíciós idejű felvételeket készítünk, ennek következtében az objektumunk fényességéhez hasonló csillagokat is kimérésre alkalmas állapotban rögzítünk. A 14-16 magnitúdós tartományban, minden bizonnyal állítható, ezerszámra található még felfedezetlen változócsillagok. Ilyen határfényességű képek feldolgozásakor nagy valószínűséggel akadunk ilyen érdekes objektumra.

Tavaly augusztus elsején az 1108 Demeter kisbolygóról készült képeken a GSC 2127

56 katalógusszámú 12,3 magnitúdós csillag fényességét változó mértékűnek találtam, amit a 24. ábra is szemléltet. A következő éjszakákon a vizsgált égitestem már egy látómezőnél messzebb járt ettől a csillagtól, így sajnos ezen időszakban nem készült több mérés a változóról. Az említett mérés kiértékelése is későbbi időben történt, amikor a csillag már csak az éjszaka első felében, rövid ideig és alacsony magasságban volt megfi gyelhető. A fénygörbe alapján a változás lehetséges oka csillagpulzáció, esetleg egy fedési kettős minimumát rögzítettem. Az utóbbi feltevés a valószínűbb, ez esetben a csillag W UMa vagy  $\beta$  Lyr típusú. Amennyit a rész fénygörbéből elmondhatunk, az annyi, hogy a periódus bizonyosan nagyobb 0,4 napnál, az amplitúdó pedig 0,2 magnitúdónál. A fényváltozás okának kiderítése és a paraméterek pontosítása érdekében további vizsgálatokat szeretnék a jövőben végezni erről a csillagról.



24. ábra. Az 1108 Demeter mérésénél talált változócsillag (GSC 2127– 0056) fénygörbéje

Az egyetemen eddig elvégzett kisbolygós vizsgálatokból származó CCD-felvételeken talált változócsillagokat IBVS cikkek is bemutatják. 2000. októberében az 5690=1992 EU jelzésű kis égitestről készített képeken két W UMa típusú fedési kettőst találtunk (Csák et al., 2001).

## 4. Mérési adatok

Az alábbi táblázatokban részletesen megtalálhatóak a vizsgált kisbolygókra – felfedező, felfedezés ideje, méretek – valamint az észlelés körülményeire – aspektus adatok, mérés helye, ideje, alkalmazott távcső, szűrő és expozíciós idő – vonatkozó adatok. Itt tüntettem fel a fénygörbék analízise után nyert periódus és amplitúdó értékeket is. Végül statisztikai összegzést készítettem méréseimről.

1. táblázat. Vizsgált kisbolygók

Név	Felfedező	Felfedezés ideje	Átmérő km-ben
469 Argentina	L. Carnera	1901.02.20.	129 ±3
531 Zerlina	M. Wolf	1904.04.12.	17,8±3,7
546 Herodias	P. Gotz	1904.10.10.	69,7±1,5
549 Jessonda	M. Wolf	1904.11.15.	20,5±2,1
756 Lilliana	J.H. Metcalf	1908.04.26.	78,3±1,5
894 Erda	M. Wolf	1918.06.04.	40,8±1,6
1108 Demeter	K. Reinmuth	1929.05.31.	27,4
1170 Siva	E. Delporte	1930.09.29.	12,3±0,6
1270 Datura	G. Van Biesbroeck	1930.12.17.	9,5±0,5
1286 Banachiewiczza	S.J. Arend	1933.08.25.	33,8±4,6
1400 Tirela	L. Boyer	1936.11.17.	33,0
1503 Kuopio	Y. Vaisala	1938.12.15.	23,0±1,7
1506 Xosa	C. Jackson	1939.05.15.	30,1
1695 Walbeck	L. Oterma	1941.10.15.	21,0±0,7
3682 Welther	K. Reinmuth	1923.07.12.	33,0
5690 1992 EU	S. Ueda, H. Kaneda	1992.03.07.	20,8
6510 Tarry	C. S. Shoemaker	1987.02.23.	18,2
7505 1997 AM2	T. Kobayashi	1997.01.03.	27,5



2. táblázat. Geocentrikus és heliocentrikus geometriai adatok

Név	Mag.	R	$\Delta$	Fázis	$\lambda$	$\beta$
469 Argentina	12, <sup>m</sup> 9	2,85	1,92	7,69	110,88	10,51
531 Zerlina	15, <sup>m</sup> 4	2,232	1,444	20,231	105,07	50,46
546 Herodias	13, <sup>m</sup> 2	2,32	1,45	14,9	95,3	24,0
549 Jessonda	13, <sup>m</sup> 6	2,114	1,168	10,451	124,65	-2,843
756 Lilliana	14, <sup>m</sup> 2	2,949	2,040	10,471	86,169	28,645
894 Erda	13, <sup>m</sup> 4	2,741	1,768	7,536	52,181	18,368
1108 Demeter	14, <sup>m</sup> 3	1,80	0,97	25,01	66,02	47,62
1170 Siva	13, <sup>m</sup> 5	1,744	0,754	7,044	14,765	12,323
1270 Datura	15, <sup>m</sup> 8	1,955	1,341	28,176	88,237	-5,377
1286 Banachiewiczza	14, <sup>m</sup> 7	2,755	1,759	4,715	36,959	14,145
1400 Tirela	15, <sup>m</sup> 0	2,374	1,479	14,345	65,318	25,356
1503 Kuopio	14, <sup>m</sup> 5	2,739	1,768	6,113	11,303	16,130
1506 Xosa	13, <sup>m</sup> 8	1,935	0,97	13,041	61,439	23,935
1695 Walbeck	15, <sup>m</sup> 3	2,07	1,19	18,2	52,75	28,97
3682 Welther	13, <sup>m</sup> 7	1,928	0,984	14,769	10,934	27,317
3682 Welther	13, <sup>m</sup> 9	1,887	1,002	19,477	16,902	25,505
3682 Welther	13, <sup>m</sup> 9	1,886	1,01	20,056	17,01	25,19
5690 1992 EU	15, <sup>m</sup> 6	1,775	1,218	32,774	89,852	36,291
6510 Tarry	15, <sup>m</sup> 3	1,853	1,01	23,485	73,609	42,144
7505 1997 AM2	14, <sup>m</sup> 3	1,719	0,967	29,489	79,587	-6,771

LEÍRÁS:

R = HELIOCENTRIKUS TÁVOLSÁG (AU)

$\Delta$  = GEOCENTRIKUS TÁVOLSÁG (AU)

$\lambda$  = GEOCENTRIKUS HOSSZÚSÁG (FOK)

$\beta$  = GEOCENTRIKUS SZÉLESSÉG (FOK)

3. táblázat. Elért eredmények

Név	Mérés ideje	Távcső&Szűrő	Exp. idő	Periódus	Ampl.
469 Argentina	2002.01.30.	0,4m Cass., X	40 sec.	8,2h?	0, <sup>m</sup> 14
531 Zerlina	2002.06.08.	0,6m Sch., R	90 sec.	>0,4d	>0, <sup>m</sup> 17
546 Herodias	2002.01.23.	0,4m Cass., X	45 sec.	8,450h	0, <sup>m</sup> 1
549 Jessonda	2002.01.23.	0,4m Cass., X	30 sec.	-	<0, <sup>m</sup> 15
756 Lilliana	2001.07.11.	0,4m Cass., R	45 sec.	4,683h	0, <sup>m</sup> 56
894 Erda	2001.07.19.	0,4m Cass., R	45 sec.	-	<0, <sup>m</sup> 2
1108 Demeter	2001.08.01.	0,4m Cass., R	45 sec.	-	<0, <sup>m</sup> 15
1170 Siva	2001.10.06.	0,6m Sch., R	60 sec.	-	<0, <sup>m</sup> 1
1270 Datura	2000.10.13.	0,6m Sch., X	180 sec.	3,36h	0, <sup>m</sup> 61
1286 Banachiewiczza	2001.08.14.	0,4m Cass., X	40 sec.	-	<0, <sup>m</sup> 4
1400 Tirela	2001.08.13.	0,4m Cass., X	45 sec.	15,0h?	0, <sup>m</sup> 55
1503 Kuopio	2001.10.09.	0,6m Sch., R	60 sec.	9,96h	0, <sup>m</sup> 77
1506 Xosa	2001.07.31.	0,4m Cass., R	45 sec.	6,7h?	<0, <sup>m</sup> 17
1695 Walbeck	2001.08.29.	0,4m Cass., X	60 sec.	8,93h?	0, <sup>m</sup> 34
3682 Welther	2001.10.06.	0,6m Sch., R	60 sec.	3,43h?	0, <sup>m</sup> 35
5690 1992 EU	2000.10.12.	0,6m Sch., X	120 sec.	?	>0, <sup>m</sup> 25
6510 Tarry	2002.06.12.	0,6m Sch., R	120 sec.	>6,h24	>0, <sup>m</sup> 54
7505 1997 AM2	2000.10.15.	0,6m Sch., V	180 sec.	4,h14	0, <sup>m</sup> 68

4. táblázat. Statisztika

Név	Idő	Pontok	Név	Idő	Pontok
469 Argentina	2002.01.28.	240	1506 Xosa	2001.10.10.	140
	2002.01.30.	601		2001.10.11.	77
	2002.02.01.	386		2001.07.30.	397
531 Zerlina	2002.06.08.	109	1400 Tirela	2001.07.31.	426
	546 Herodias	2002.01.22.		662	2001.08.07.
549 Jessonda	2002.01.23.	472	1695 Walbeck	2001.08.08.	80
	2002.02.15.	120		2001.08.09.	227
	551 Ortrud	2001.10.09.		16	2001.08.13.
756 Lilliana	2001.07.10.	159	3682 Welther	2001.08.14.	254
	2001.07.11.	211		2001.08.28.	163
	2001.07.28.	235		2001.08.29.	259
	2001.07.29.	282		2001.08.30.	99
	2001.08.08.	350		2001.08.29.	122
894 Erda	2001.07.17	238		2001.08.30.	490
	2001.07.18.	446		2001.10.06.	130
	2001.07.19.	368		2001.10.07.	19
1108 Demeter	2001.08.01.	487	5690 1992 EU	2001.10.08.	108
	2001.08.02.	361		2000.10.12.	66
	2001.08.27.	236		2000.10.13.	89
1170 Siva	2001.10.06.	129	6510 Tarry	2002.06.12.	95
1270 Datura	2000.10.13.	69	7505 1997 AM2	2000.10.14.	47
1286 Banachiewiczza	2001.08.14.	67		2000.10.15.	86
1503 Kuopio	2001.10.09.	277			

Összesen: 10514 darab felhasznált CCD frame 37 éjszaka során.

## 5. Összefoglalás

Az objektumok döntő hányada mutatott érdemleges fényváltozást, így számos kisbolygó további alapos méréseket igényel, talán akár többszín-fotometria keretében is. Ezenkívül szeretném lefedni az első ezer sorszámozott kisbolygó fotometriai adatsorát, azaz minden hiányzó objektumról végezni – legalább egy éjszaka során – mérést CCD-kamera segítségével.

Az adatfeldolgozás automatizálásának területén is számos feladat vár még rám. A kimérés folyamatának felgyorsítására szolgálhat a kisbolygó CCD képen lévő pozíciójának lineáris interpolációval történő meghatározása. Ekkor a kezdő és a legutolsó felvétel  $x$ , illetve  $y$  koordinátája alapján válik lehetségessé az égitest pozíciójának meghatározása a közbenső felvételekre. Majd ezen képterület apertúra fotometriájával nyerhető a kisbolygó intenzitása. Az összehasonlító és ellenőrző csillagok fényessége egymásra csúsztatott képek automatikus kimérésével kapható.

Új változócsillagok keresésének egyik járható útja az elkészített CCD felvételek utólagos ellenőrzése és kimérése, amikor is a képen található összes csillag fényességét meghatározzuk. Egyszerű különbségi fotometria alkalmazásával a változócsillagok könnyedén kiszűrhetőek. Ezeket a feladatokat tervezem elvégezni a kisbolygós képeimre vonatkozóan.

A dolgozatban említett eredmények publikálás alatt vannak a Planetary and Space Science című szakfolyóiratban.

## **6. Köszönetnyilvánítás**

Az alábbi személyeknek tartozom hálával: Dr. Kiss L. Lászlónak a témavezetésért, Sárneczky Krisztiánnak, Szabó M. Gyulának és Csák Balázsnak az értékes ötletekért és a mérések kivitelezése során nyújtott segítségükért. A berendezések rendelkezésre bocsájtásáért köszönet illeti a Szegedi Tudományegyetem Fizikus Tanszékcsoportját, valamint az MTA KTM CSKI pizskéstetői obszervatóriumát.

Munkámat az FKFP 0010/2001 pályázat és a Pro Renovanda Cultura Hungariae – Diákok a tudományért szakalapítvány támogatta.

## A. Mellékletek

### A.1. Az adatok feldolgozása

A következő sorokban található az adatok kiértékelését segítő rövid C nyelvű program, melynek feladata az idő és magnitúdó listák összehangolása, illetve a különbségi fotometria elvégzése egyszerű kivonás segítségével.

```
/* Kisbolygó adatok redukálása, Pierre 2001 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main ()
{
int i=0, n=0, a=0; int jdfix=2450000; /* Julian-dátum */
double ast,comp,chk;
double jd[1000];
char imgs[1000] [20];
char image[20];
char im;
FILE * file;
FILE * reduc;
if ((reduc = fopen( "red.dat" , "wt"))== NULL)
    {
    fprintf (stderr, "Unsuccesfull file creating! \n");
    exit (-1);
    }
else;
if ((file = fopen( "times" , "rt"))== NULL)
    {
    fprintf (stderr, "Unsuccesfull file opening! \n");
    exit (-1);
    }
else;
do
    {
    fscanf (file, "%s %lf ", &imgs[i], &jd[i]);
    i++;
    }
while (!feof(file));
fclose (file);
if ((file = fopen( "mags" , "rt"))== NULL)
    {
```

```

        fprintf (stderr, "Unsuccesfull file opening! \n");
        exit(-1);
    }
else;
n=i-1;
do
    {
        fscanf (file, "%s %lf ", &image, &ast);
        fscanf (file, "%s %lf ", &image, &comp);
        fscanf (file, "%s %lf ", &image, &chk);
for ( a=0; a<=n; a++)
        if ( strcmp(image,imgs[a]));
        else
        {
            printf (" %lf %lf %lf \n", jd[a]-jdfix, ast-comp, chk-comp);
            fprintf (reduc, " %lf %lf %lf \n", jd[a]-jdfix, ast-comp, chk-comp);
        }
    }
while (!feof(file));

fclose(file);
fclose(reduc);
printf (" \n \n red.dat file writing done. \n \n ");
}

```

## A.2. A medián képzése

Az adatfeldolgozás során szükségessé vált valamilyen módszer kidolgozása a különböző okok miatt a kelleténél „vastagabb” fénygörbék keskenyítésére, a fényváltozás grafikus ábrázolásának szépítésére információvesztés vagy ami még rosszabb, az adatok meghamisítása nélkül. A csillagászatban széles körben elterjedt fogalom az úgynevezett medián eljárás, amely egyfajta átlag képzésre szolgál. A módszer lényege rendkívül egyszerű: a mértani, a geometriai vagy más középértékektől eltérően itt nem szükséges a rendelkezésre álló minden adatokból egy új, a céljainknak megfelelő érték kiszámítása, szimplán a mért értékek közül választunk ki egyet. A median eljárás egyszerűsége a következőben rejlik: páratlan számú adat esetén azt számot választjuk ki középértéknek, amely a nagyság szerint felsorolt elemek sorában középen található, azaz ugyanannyi értéktől nagyobb, mint amennyitől kisebb. Páros számú adat esetén az így sorrendbe állított elemek közül a két középső aritmetikai átlagát vesszük.

A medián-képzés gyakorlati jelentőségét a mérés során szinte elkerülhetetlenül bekövetkező tekintélyes mérési hibák növelik. CCD-felvételeken gyakran láthatunk kozmikus sug-

araktól eredő hamis beütésnyomokat. Az apertúránkba kerülő ilyen hamis felfényesedés jelentősen megváltoztathatja az objektum valódi fényességértékét.

Tekintsük példának okáért a következő számsorozatot, amelyek akár mérési sorozatot is reprezentálhatnak:

**51, 49, 50, 52, 48, 51, 250, 49, 52,**

ahol a hetedik érték szemmel láthatólag erősen kilóg a többi pont közül, amelyet nyugodtan tekinthetünk mérési hibának is. A különböző módon képzett középértékek a következő eredményeket adják:

aritmetikai:

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = 72.44$$

geometriai:

$$G = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_i} = 60.03$$

harmonikus:

$$H = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{a_i}} = 55.10$$

négyzetes:

$$Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{n}} = 95.86$$

A median eljárás a „valódi” értékhez közelebb eső 51-et fogja szolgáltatni.

A következő, általam írt kis C-nyelvű program segítségével végeztem el a fénygörbék „simítását”.

```
/* Median átlagot képző program, (c) Pierre 2002. */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main ()
{
int i=1; /* első tömbindex */
int z,j,l,n,d; /* csereparaméter és median típus: n */
int a=1,e=1; /* ciklusváltozók */
```

```

double value[1000]; /* kezdeti tömb */
double time[1000];
double newvalue; /* új adatok*/
double newtime;
double q[10]; /* csereparaméter */
double x; /* csereparaméter */
FILE * file;
FILE * newf;
if ((file = fopen( "red.dat" , "rt"))== NULL)
    {
        fprintf (stderr, "Unsuccesfull file opening! \n");
        exit(-1);
    }
else;
do
    {
        fscanf (file, "%lf %lf ", &time[i], &value[i]);
        printf ( " %lf %lf \n", time[i] , value[i]);
        i++;
    }
while (!feof(file));
fclose(file);
printf ("\n Median type (3,5,7) ? ");
scanf ("%d",&n);
if ((newf = fopen ( "median.dat" , "wt" ))== NULL)
    {
        fprintf (stderr, "Unsuccesfull file creating! \n");
        exit(-1);
    }
else;
for (e=1; e<i; e=e+n)
    {
        l=0;
        for (a=e; a<=e+n-1; a++)
            {
                l++;
                q[l]=value[a];
            }
        for(z=1; z<=l-1; z++)
            {
                for(j=z; j<=l; j++)
                    if(q[z] > q[j])

```



```

        {
            x=q[j];
            q[j]=q[z];
            q[z]=x;
        }
    }
    d=(1/2)+1;
    newvalue=q[d];
    newtime=time[d+e-1];
    fprintf (newf, "%lf %lf \n", newtime, newvalue);
    d=0;
}

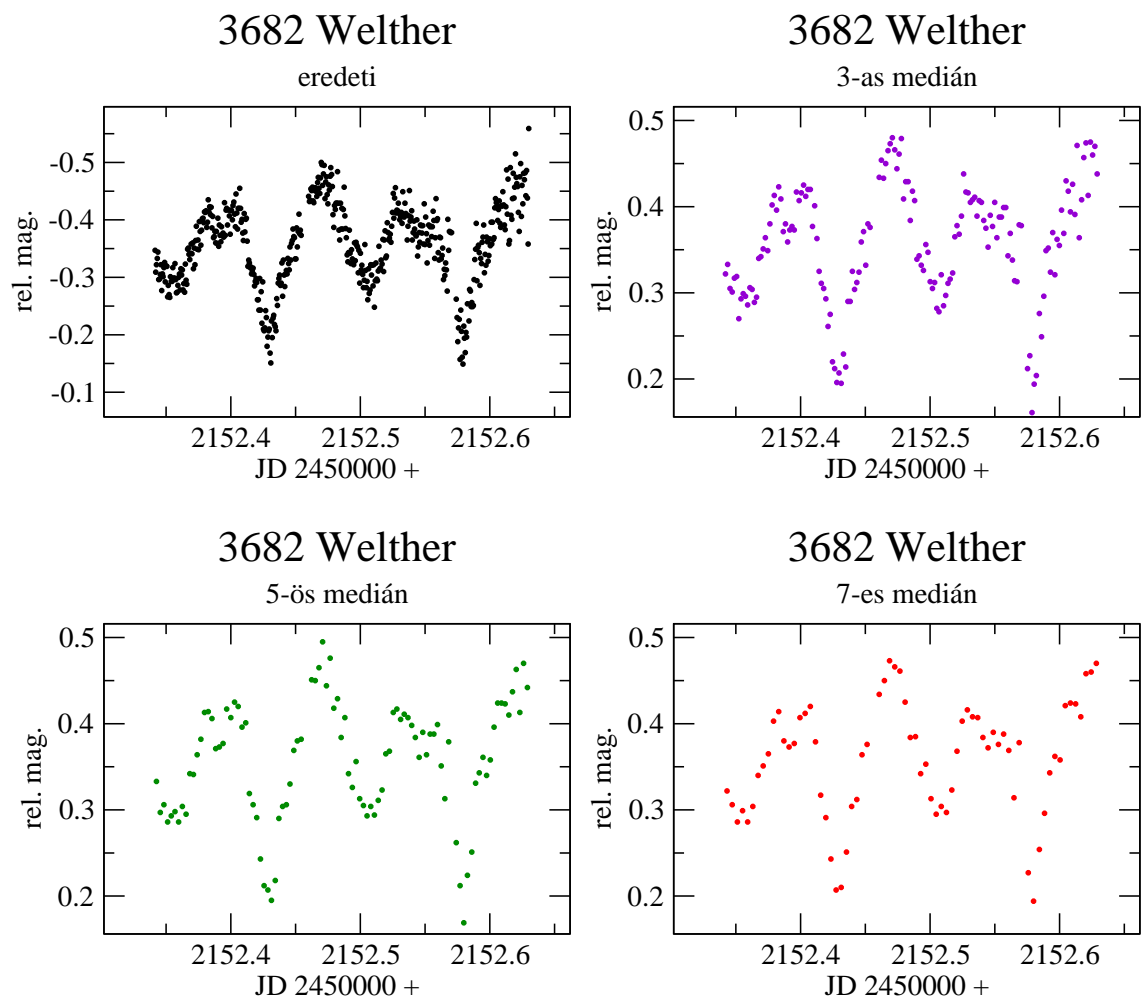
fflush (newf);
fclose (newf);
printf ("\n\nWith parameter %d median.dat file writing done. \n \n ", n);
}

```

Egy éjszaka során átlagosan 3-400 felvételt készítettem 8 órára vetítve és egy perces expozíciós idővel számolva. Egy, hasonló tengely körüli forgási periódusidővel rendelkező kisbolygó teljes rotációs periódusára tehát ennyi kép esik, ami bőven elégséges felbontást biztosít.

A különböző mértékű medián-képzés eredményeit a következő ábrák szemléltetik. A 3682 sorszámú, Welther nevű kisbolygó fénygörbéjét felhasználva 3,5 illetve 7 mérésre végeztem az eljárást, azaz ennyi kép közül választottam ki a középső mérési értékeket.

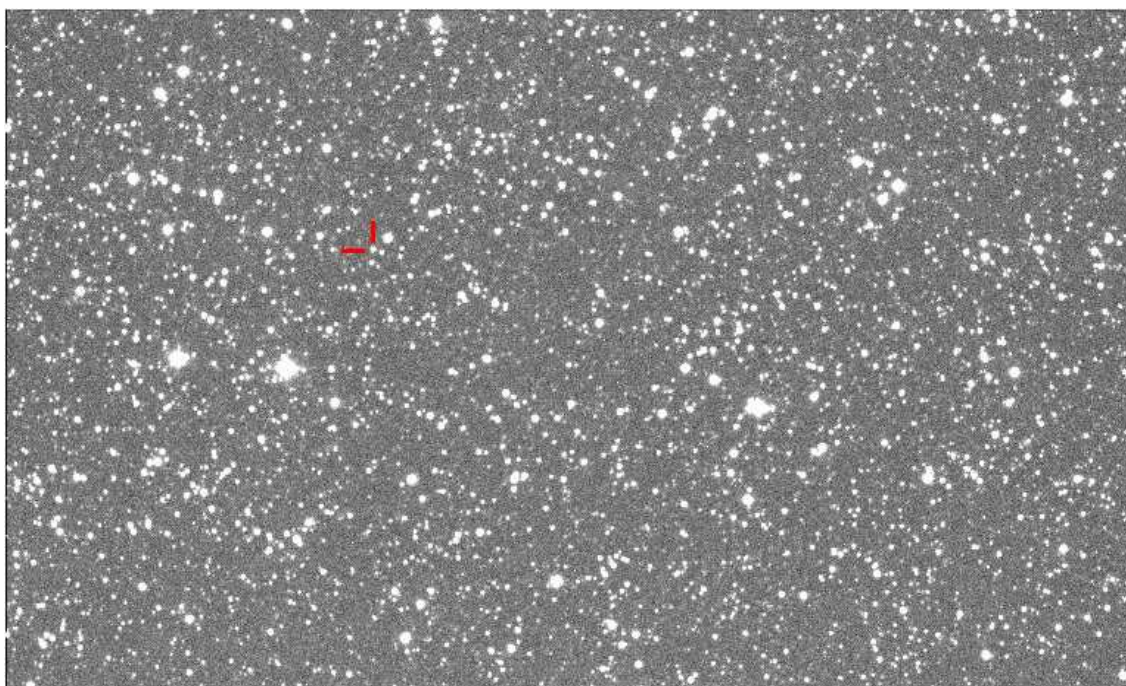
Az ábrák jól mutatják a megoldás hatékonyságát: az ábrázolt görbe minden esetben relevánsan keskenyebb lett, míg az alakjából egyáltalán nem vészett, sőt kifejezetten előnyösebb lett az eredmény a fényváltozás szemléltetése szempontjából.



25. ábra. 3682 Welther fénygörbéi

### A.3. Fluxus azonos szintre hozása

Az eljárás alapját Szabó Gyula ötlete képezi. A mérési adatok ilyen úton történő feldolgozását az teszi szükségessé, hogy a CCD-felvételen a kisbolygó nagyon gyakran zsúfolt csillagkörnyezetben található. Az éjszaka kezdetén sokszor az égitest azonosítása is nehézségekbe ütközik. A Guide ugyanis nem ábrázol minden csillagot a beállított határmagnitúdóig az adott égterületen, a katalógus célja előre megadott csillagszám biztosítása  $\Delta x$  égterületre a referenciacsillagok számának szinten tartása érdekében. Így a Tejút környezetében a program határmagnitúdója lecsökken, csupán a fényesebb csillagok szerepelnek a térképen. Ehhez járul még hozzá a szegedi berendezés kicsi látómezeje, a  $6 \times 6$  ívperces égterület megnehezíti a tájékozódást. Célszerű a mérés megkezdése előtt az internetről letölteni az adott területről a Digitized Sky Survey (DSS)<sup>6</sup> egy ide vonatkozó, beállítható méretű felvételét. A nagy határfényességű kép jobban visszaadja a valóság látványát, mint a Guide által kinyomtatott térkép.



26. ábra. A 6510 Tarry egyik felvétele

Az azonosítási nehézségeknél azonban sokkal nagyobb probléma, hogy a csillagokkal történő számos látszólagos „ütközésnél” rengeteg fotometriai információ elveszik. A PSF fotometriával ellentétben az apertúra fotometria nem teszi lehetővé egymásba lógó csillag-profilok kiértékelését. Ha a kisbolygó látszólagos elmozdulása kicsi, nagyon sok időt tölt a csillag környezetében, ha gyorsan mozog, számos csillagot „talál el”. A 26. ábra, ami idén júniusban készült a piszkéstetői Schmidt-távcsővel, jól szemlélteti a fentebb említett gondokat.

---

<sup>6</sup><http://archive.stsci.edu/dss/>

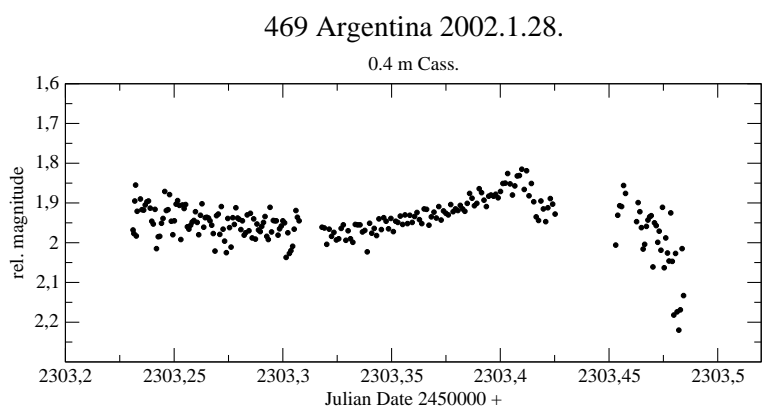
Ezen problémák kiküszöbölésére alkalmas a fluxus azonos szintre hozásának módszere. Az eljárás lépései a következők:

1. A felvételeket koordináta szerint rendezzük. A képek összetolására alkalmas taszk az IRAF-on belül az imalign.
2. Az így kapott képek mindegyikét leosztjuk az adott képen található előre rögzített csillag fluxusával.
3. Vesszük ezen képek mediánját.
4. Minden leosztott képből kivonjuk ezt az eredményt.
5. Így a felvételeken csak egy csillag marad, maga a kisbolygó, ami így kifotometrálható.

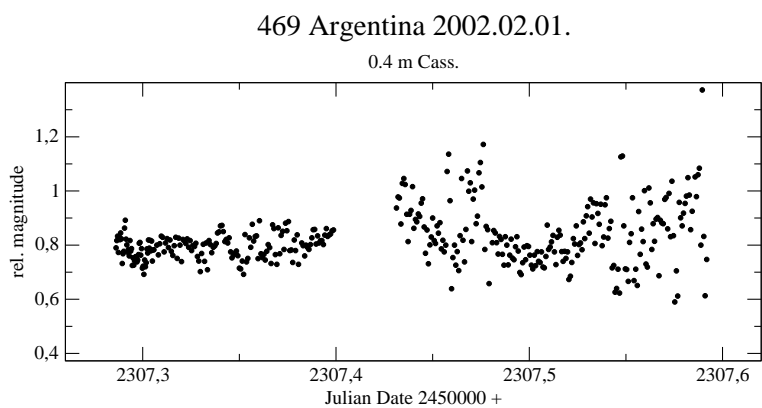
Az eljárás gyors alkalmazására egy C nyelvű program szolgálhat, amit a közeljövőben szeretnék elkészíteni.

#### A.4. Összes mérés fénygörbéje

A következő oldalakon a 4.1. alfejezetben bemutatott adatsorok kivételével megtalálható minden egyes mérésből származó fénygörbe. Az ábrák vízszintes tengelyén a mérés időpontja található Julián-dátum formájában kifejezve, míg a függőleges tengelyen relatív magnitúdó különbség látható. A méréseim ábrázolásának döntő többségénél kiszedtem a csillaggal való látszólagos összeolvadások miatti hamis csúcsokat adó pontokat. Ezért több görbén az emiatti „űrök” sajnos fellelhetőek.



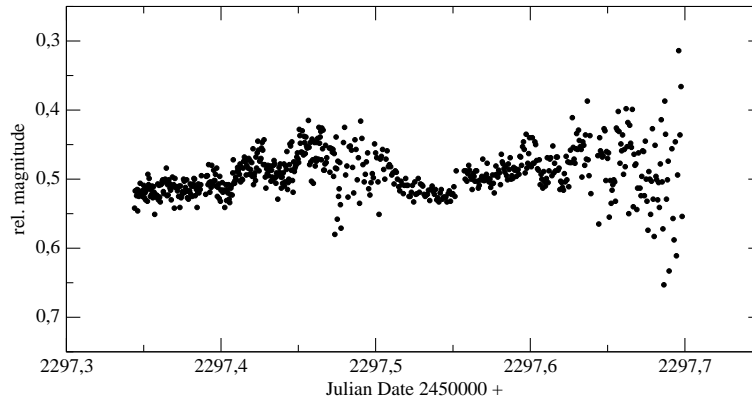
27. ábra. A 469 Argentina fénygörbéje



28. ábra. A 469 Argentina fénygörbéje

546 Herodias 2002.01.22.

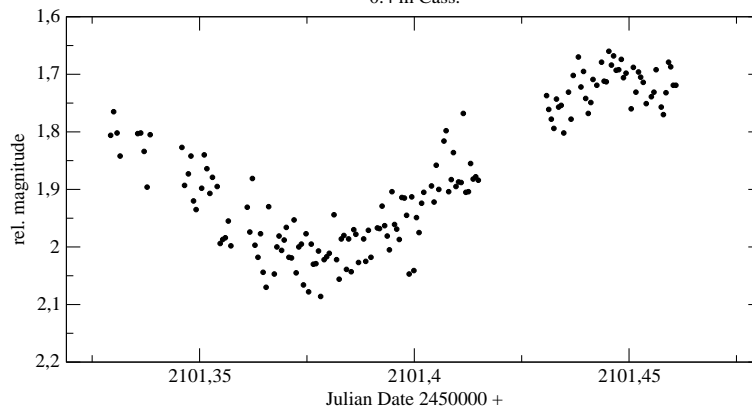
0.4 m Cass.



29. ábra. Az 546 Herodias fénygörbéje

756 Lilliana 2001.07.10.

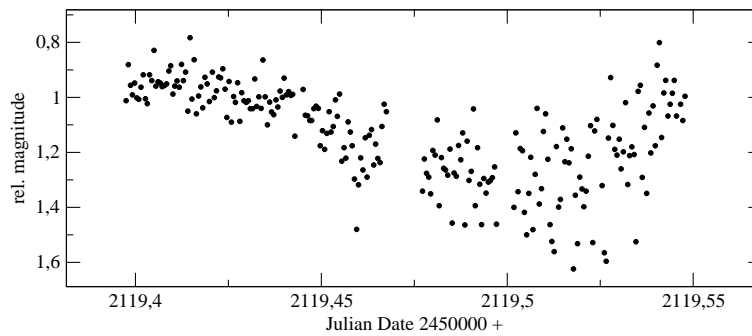
0.4 m Cass.



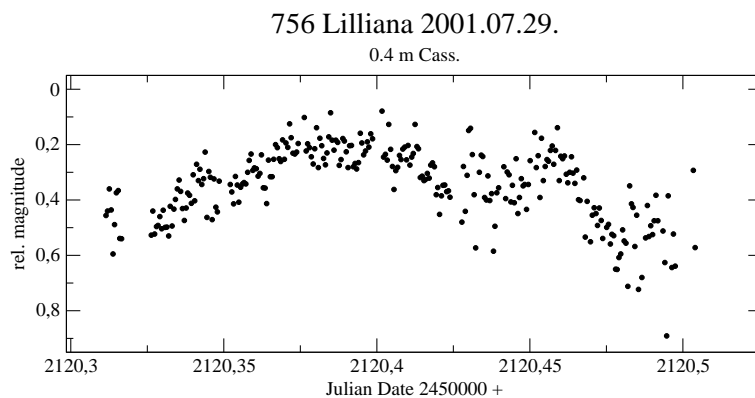
30. ábra. A 756 Lilliana fénygörbéje

756 Lilliana 2001.07.28.

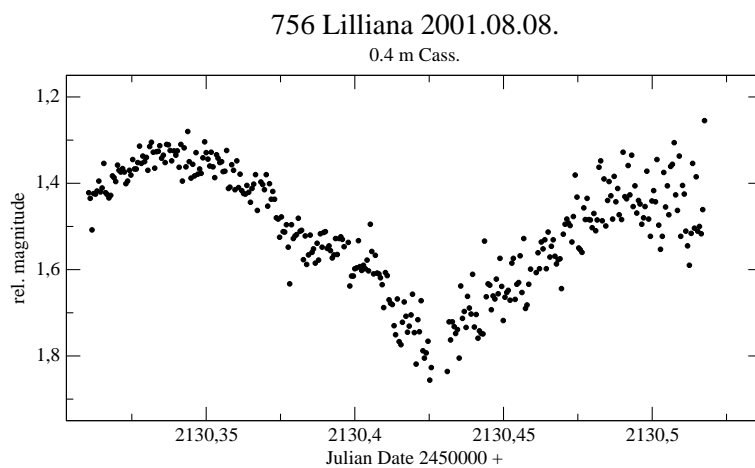
0.4 m Cass.



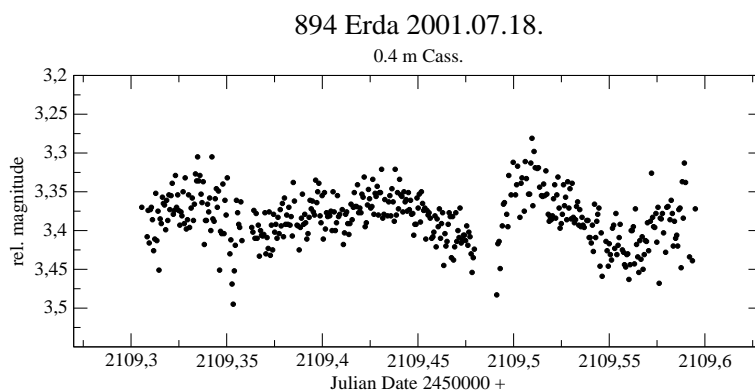
31. ábra. A 756 Lilliana fénygörbéje



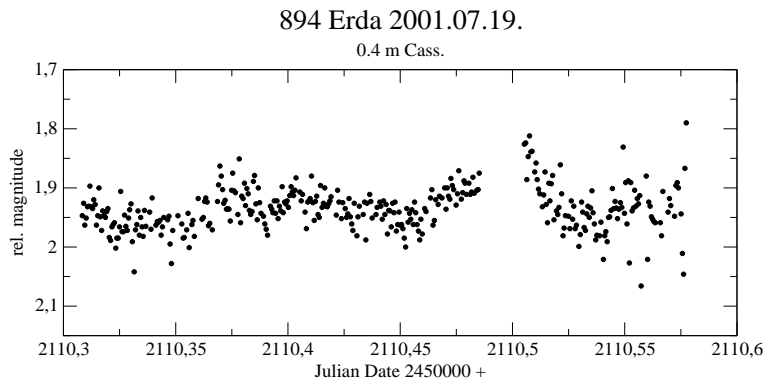
32. ábra. A 756 *Lilliana* fénygörbéje



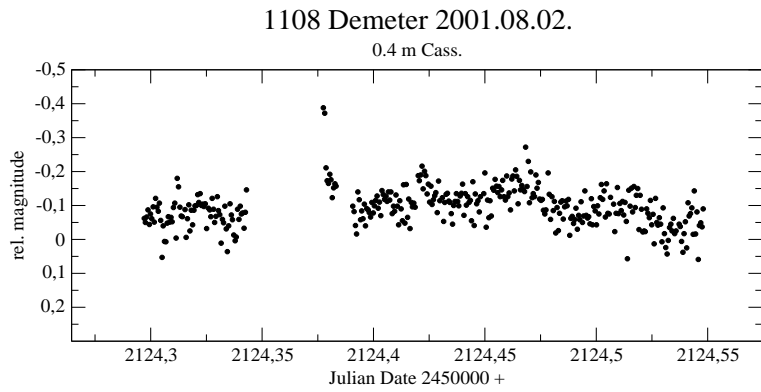
33. ábra. A 756 *Lilliana* fénygörbéje



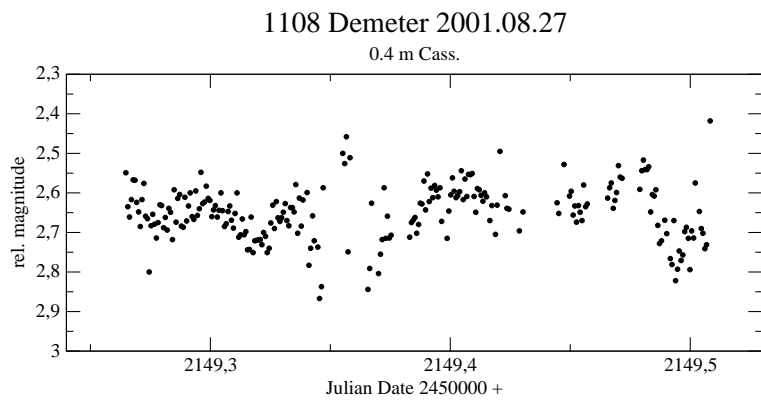
34. ábra. A 894 *Erda* fénygörbéje



35. ábra. A 894 Erda fénygörbéje

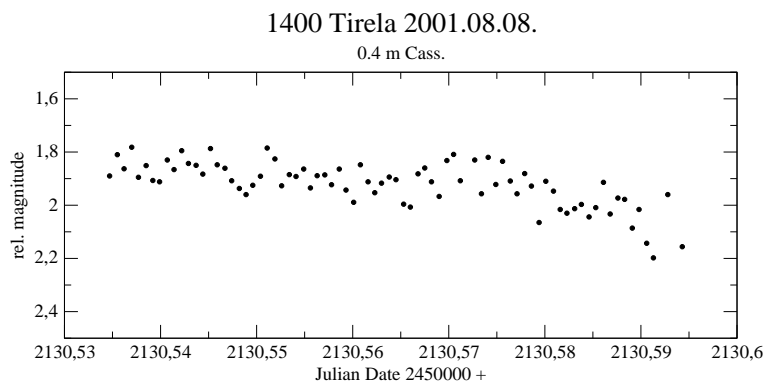


36. ábra. Az 1108 Demeter fénygörbéje

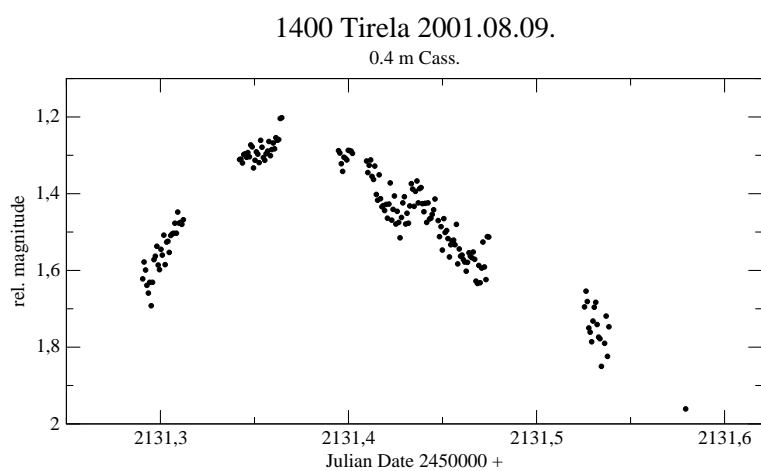


37. ábra. Az 1108 Demeter fénygörbéje

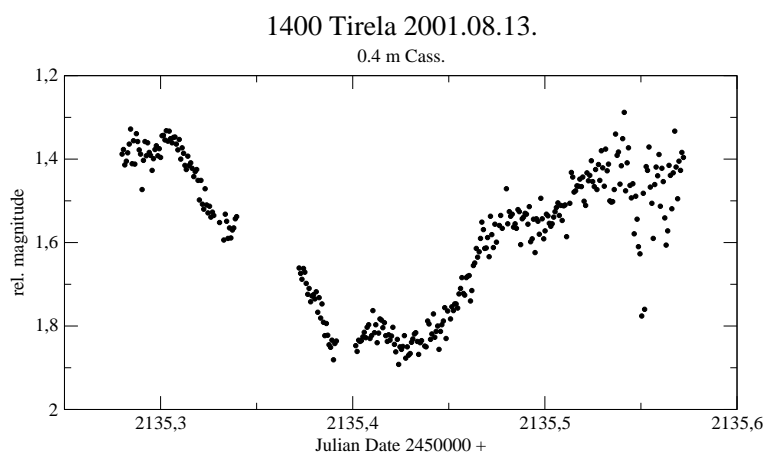




38. ábra. Az 1400 Tirela fénygörbéje



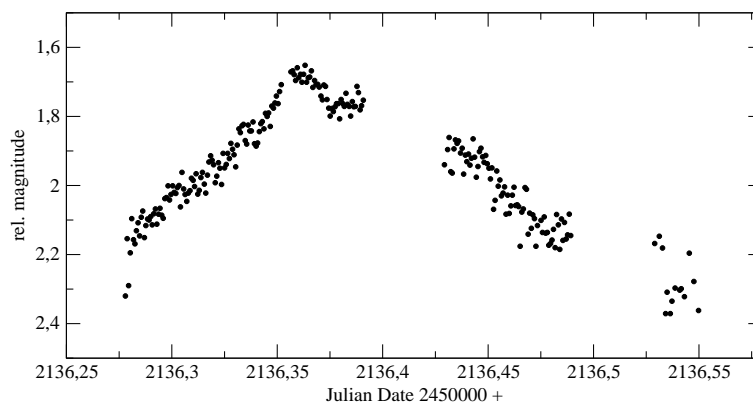
39. ábra. Az 1400 Tirela fénygörbéje



40. ábra. Az 1400 Tirela fénygörbéje

1400 Tirela 2001.08.14.

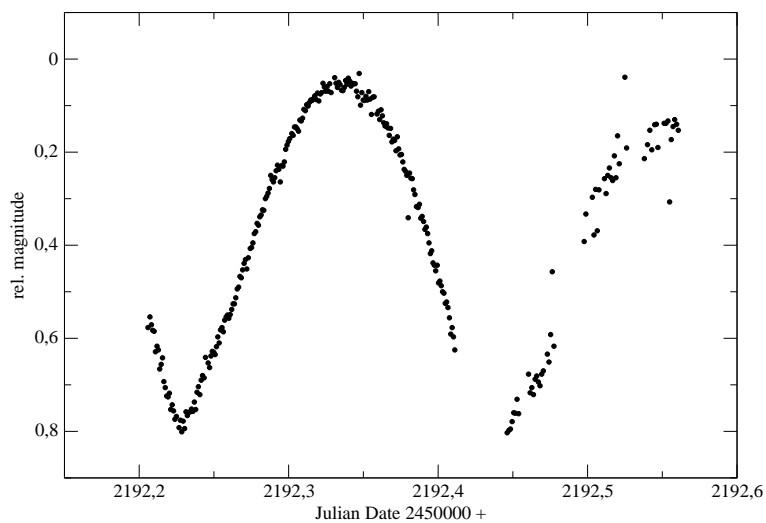
0.4 m Cass.



41. ábra. Az 1400 Tirela fénygörbéje

1503 Kuopio 2001.10.09.

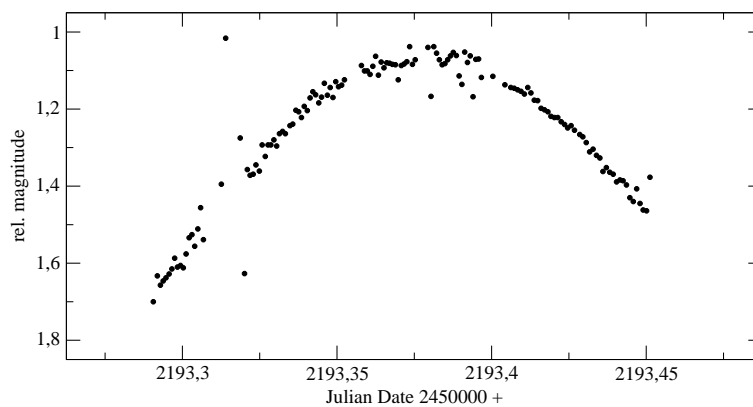
0.6/0.9/1.8 m Schmidt



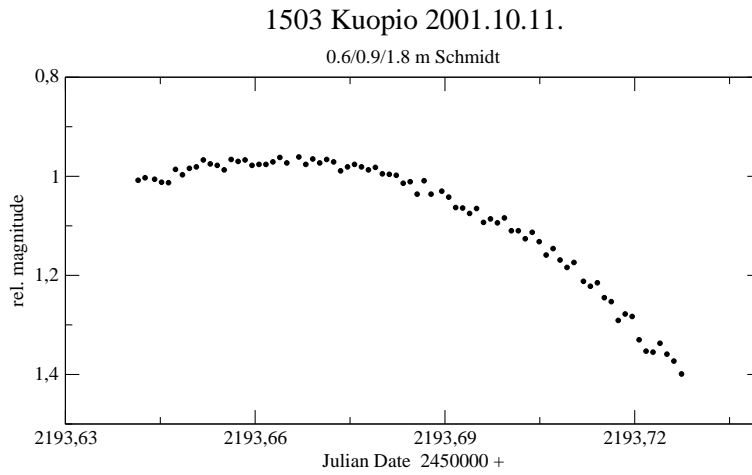
42. ábra. Az 1503 Kuopio fénygörbéje

1503 Kuopio 2001.10.10.

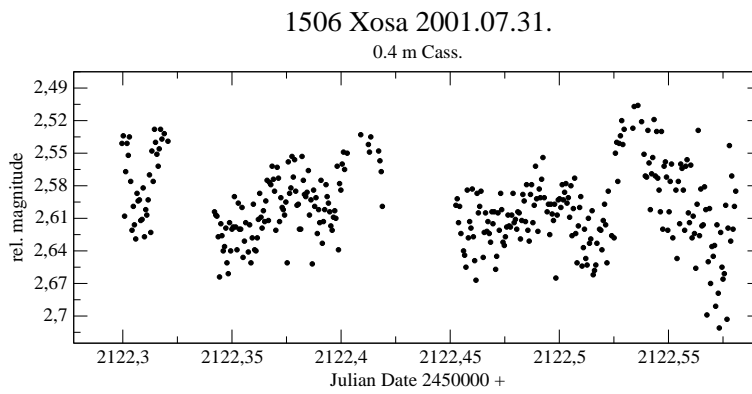
0.6/0.9/1.8 m Schmidt



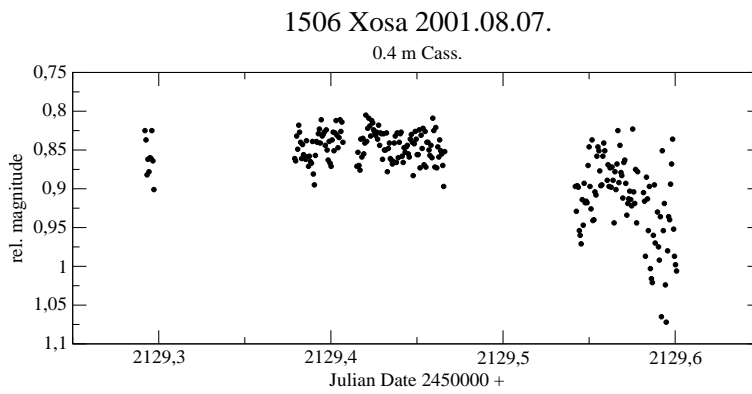
43. ábra. Az 1503 Kuopio fénygörbéje



44. ábra. Az 1503 Kuopio fénygörbéje



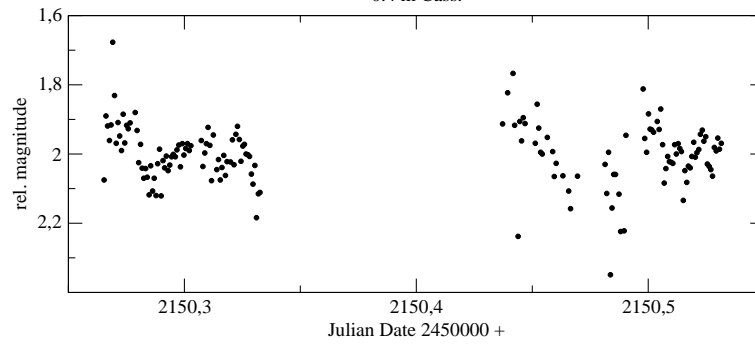
45. ábra. Az 1506 Xosa fénygörbéje



46. ábra. Az 1506 Xosa fénygörbéje

1695 Walbeck 2001.08.28.

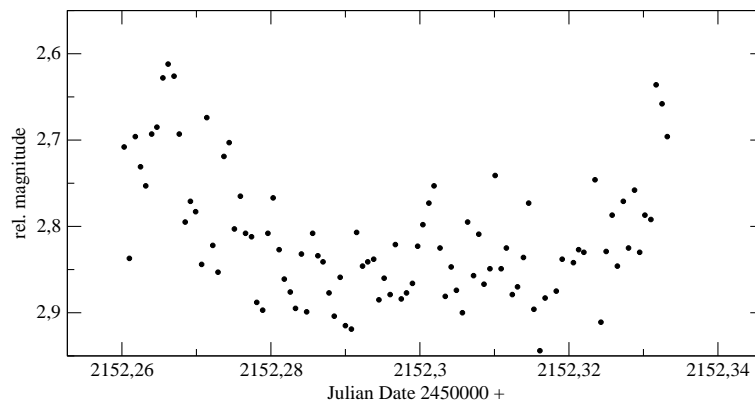
0.4 m Cass.



47. ábra. Az 1695 Walbeck fénygörbéje

1695 Walbeck 2001.08.30.

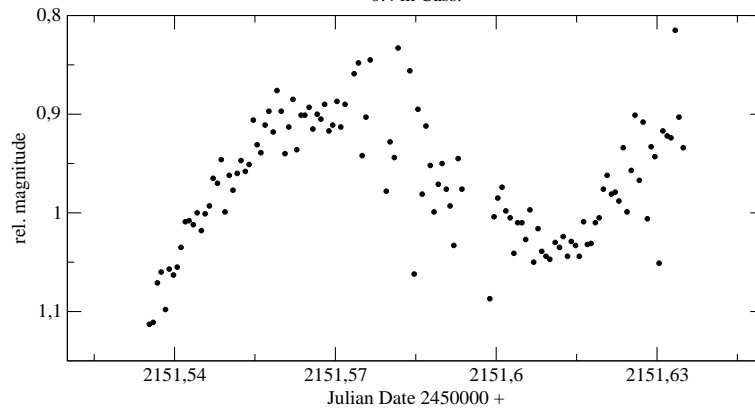
0.4 m Cass.



48. ábra. Az 1695 Walbeck fénygörbéje

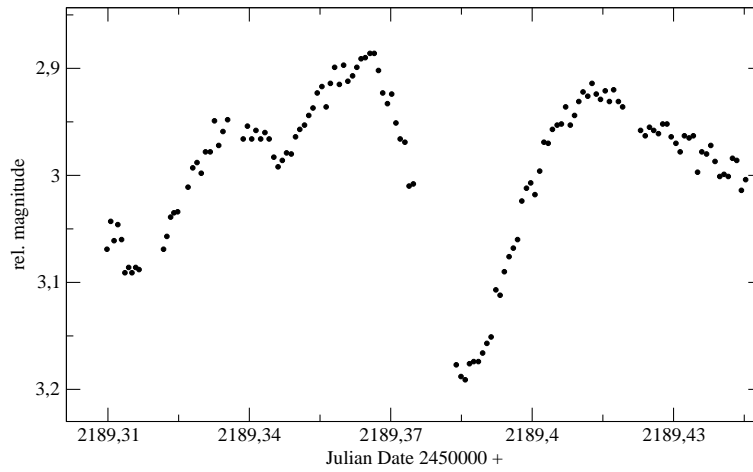
3682 Welther 2001.08.29.

0.4 m Cass.



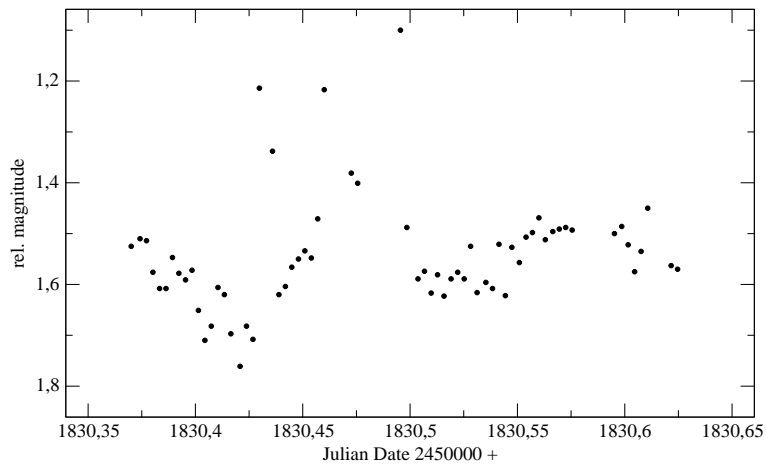
49. ábra. Az 3682 Welther fénygörbéje

3682 Welther 2001.10.06.  
0.6/0.9/1.8 m Schmidt



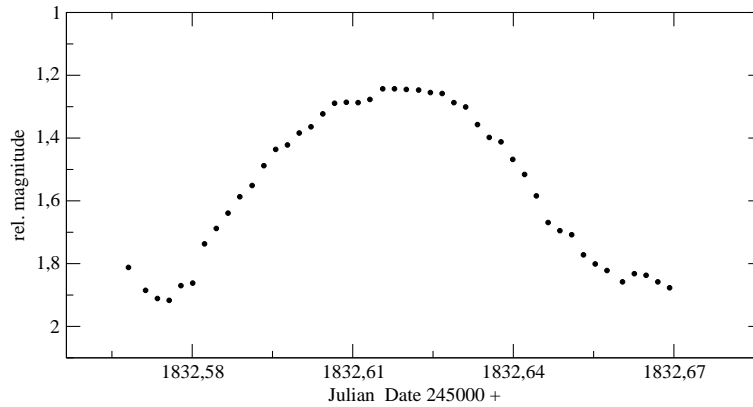
50. ábra. Az 3682 Welther fénygörbéje

5690=1992 EU  
2000.10.12. clear filter 60/90/180 Schmidt

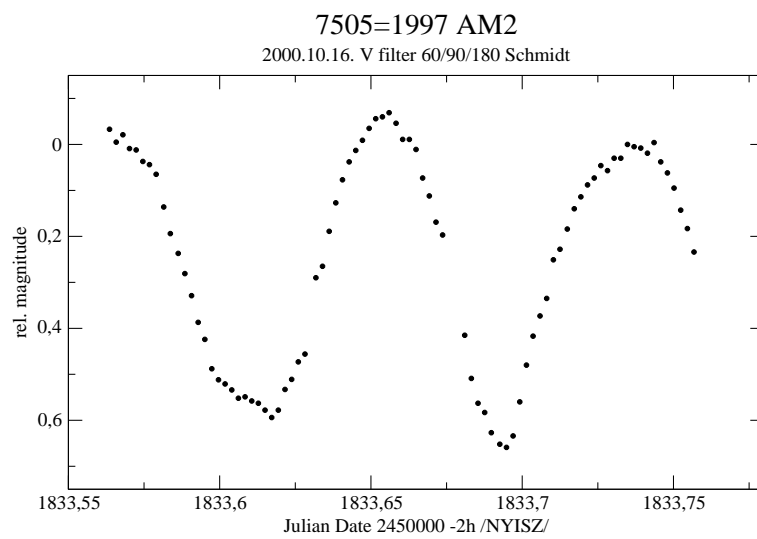


51. ábra. Az 5690=1992 EU fénygörbéje

7505=1997 AM2  
2000.10.15. V filter 60/90/ Schmidt



52. ábra. A 7505=1997 AM2 fénygörbéje



53. ábra. A 7505=1997 AM2 fénygörbéje

# Nyilatkozat

Alulírott Székely Péter, csillagász szakos hallgató, kijelentem, hogy a diplomadolgozatban foglaltak saját munkám eredményei , és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem azt, hogy diplomamunkámat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

.....

2004. április 20.

## Hivatkozások

- [1] C.A. Angeli et al: Rotation periods for small main-belt asteroids from CCD photometry, The Astronomical Journal 121:2245-2252 (2001)
- [2] Csák et al.: Two new contact binary star, Information Bulletin On Variable Stars Nr. 5049 (2001)
- [3] Fulchignoni et al.: On the evolution of the asteroid spin, Astronomy & Astrophysics, Vol. 299, p929-932 (1995)
- [4] L.L. Kiss, Gy. Szabó, K. Sárneczky: CCD photometry and new models of 5 minor planets, Astronomy & Astrophysics Suppl. Ser. **140** , 21–28 (1999)
- [5] Piirone, J.; Lagerkvist C.-I. et al: Asteroid Photometric Catalogue, Fourth Update, published by Astronomiska observatoriet, Uppsala, Sweden, (1996)
- [6] Pravec, P., Harris, A. W.: Asteroid Photometry Opportunities, Minor Planet Center Bulletin 28 (2001)
- [7] K. Sárneczky, Gy. Szabó, L.L. Kiss: CCD observations of 11 faint asteroids, Astronomy & Astrophysics Suppl. Ser. **137** , 363–368 (1999)
- [8] <http://cfa-www.harvard.edu/iau/lists/lightcurveDat.html>
- [9] [http://echo.jpl.nasa.gov/ostro/KY26/JPL\\_press\\_release.text](http://echo.jpl.nasa.gov/ostro/KY26/JPL_press_release.text)
- [10] <http://www.asu.cas.cz/~ppravec/welther.htm>
- [11] <http://www.boulder.swri.edu/ekonews/>