



CCD technika

Kisbolygó-fotometria

Naprendszerünk teljesebb megismerésében kulcsfontosságú szerepet játszik a kisbolygók fizikájának kutatása. Ez a terület elsősorban a számítástechnika fejlődésével vált könnyen megközelíthetővé, így a témakör kutatása a modern csillagászat egyik legújabb ágazata. A fölmerülő kérdések az alábbiakban foglalhatóak össze:

- Milyen keletkezési elméletek helytállóak, ha a kisbolygók megfigyelt tulajdonságait akarjuk elméleteinkkel magyarázni?
- Hogyan hozhatóak összefüggésbe a később lejátszódó folyamatok a kisbolygók tulajdonságainak megváltozásaival?

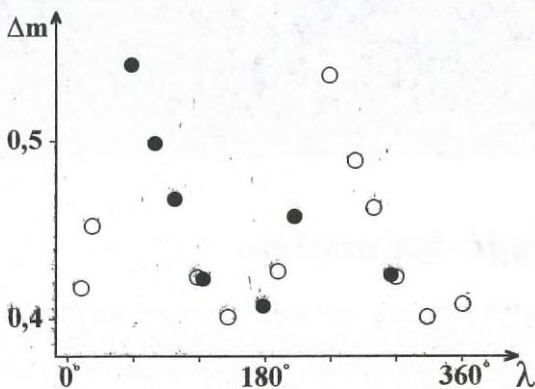
E kérdések megválaszolásához nagy mennyiségű földolgozott megfigyelési anyagra van szükség, mert csak így tudjuk a Naprendszer ezen kisebb objektumainak tulajdonságait érdemben áttekinteni. Ezekből a megfigyelési és földolgozási módszerekből ad ízelítőt ez a cikk, majd konkrétan bemutatja a (73) Klytia, az (1452) Hunnia, az (1604) Tombaugh, és az (1727) Mette aszteroidával kapcsolatos legújabb eredményeket.

A kisbolygók, forgásukból adódóan, változtatják fényességüket. Ez a megállapítás minden eddig megfigyelt aszteroidára igaz kisebb-nagyobb mértékben. A fényváltozás amplitúdója általában 0,1–0,5 magnitúdó közötti, a legjellemzőbb érték a kb. 0,15 magnitúdós amplitúdó. A CCD előnye ezen a területen a hagyományos fotoelektromos fotometriával szemben abban nyilvánul meg, hogy halványabb objektumok fényváltozásai is viszonylag jó jel/zaj viszony mellett követhetők kisebb távcsövekkel, így mára a kutatás fő eszközévé a CCD kamera vált.

A mérések után a CCD képek kiredukálása következik, valamilyen fotometriai rendszer szerint. Több éjszaka fénygörbéinek segítségével nagy pontossággal megállapítható a szinodikus forgási periódus, és megszerkeszthető egy ún. „kompozit diagram”, amely (a fázisdiagramhoz hasonlóan) egy rotációs ciklusba vetítve ábrázolja a megfigyelt fényváltozásokat.

Ezután következik a megfigyelési eredmények összevetése a korábbi észlelések kiértékelte adataival. Mivel más-más oppozíciókban más-más longitudinális helyzetben látjuk a kisbolygókat, lehetővé válik, hogy különböző tengelyirányok mellett vehessük föl a kompozit diagramokat. Természetesen ezek a diagramok különbözőek lesznek, és ez nagyon jellemző a kisbolygó geometriájára.

Ha már elegendően nagy megfigyelési anyaggal rendelkezünk, lehetőség van a kisbolygó alakjának és forgásának modellezésére is. Elsősorban olyan háromtengelyű forgási ellipszoidokat használunk a kisbolygók modellezéséhez, amelyek leg-rövidebb tengelye egyben forgástengely is. Ezt a modellt a megfigyelések 90%-ánál sikeresen tudjuk alkalmazni. A modellt akkor használjuk, ha a megfigyelt fénygörbék első és második minimuma is létezik egy rotációs perióduson belül, és nagyjából



1. ábra. Egy tipikus ekliptikai hosszúság–amplitúdó grafikon a (15) Eunomia kisbolygóra

másodlagos grafikonokat vesz föl az eredeti megfigyelésekből, és ebből állapítja meg a leíró paramétereket. Három másodlagos grafikonnal dolgozunk:

- az egyik az amplitúdó változásait írja le a longitudó függvényében, ez a legfontosabb grafikon (1. ábra). Ennek az amplitúdójából már következtetni lehet a forgástengely ekliptikához viszonyított hajlásszögére (minél jobban eltér a szög a derékszögtől, annál nagyobb a grafikon amplitúdója). Ezenkívül azt is könnyen beláthatjuk, hogy a legkisebb amplitúdóhoz tartozik az a helyzet, amikor a kisbolygó forgástengelye metszi (tehát nem tér ki) a Föld forgástengelyét.
- az O–C – longitudó grafikon a forgás irányáról és a tengely hajlásszögéről egyszerre tanúskodik, és
- a minimális abszolút fényesség – longitudó grafikon a tengelyek arányát jeleníti meg.

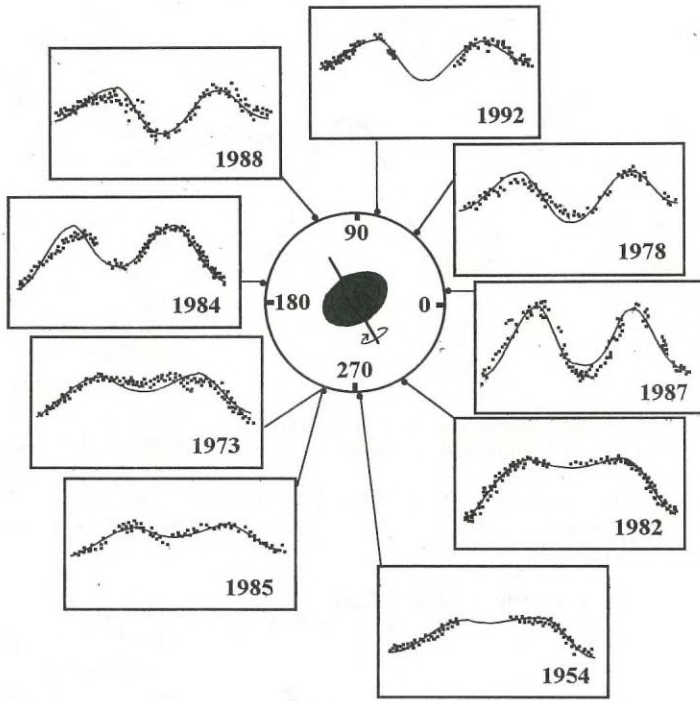
Ezt a három függvényt egyszerre közelítjük egyre finomított modelljeinkkel, és a legjobb illeszkedést fogadjuk el a kisbolygó modelljeként. (Az eljárás pontosabb részletezése hosszas képleteket és sok geometriai magyarázatot kívánna, így most az adott korlátok miatt ettől eltekintünk.)

Vannak azonban olyan kisbolygók is, amelyeknek egy rotációs perióduson belül mindig két minimuma van, de a két minimum értéke nem egyenlő, és a longitudó változásaival szintén nagy változásokat mutat (l. 2. ábra). Más kisbolygók fénygörbéi akár úgy is változhatnak, hogy a különböző oppozíciókból (és így longitudinális helyzetekből) származó fénygörbék egyszer két, máskor csak egy minimummal rendelkeznek egy rotációs perióduson belül. Ezeknek az objektumoknak az esetében nem alkalmazhatjuk a főbbi egyszerű modellt. Ezt finomítanunk kell, oly módon, hogy a legrövidebb tengelyt és a forgástengelyt függetlenítjük egymástól. Ekkor már a modellezés feladata a forgástengely térbeli helyzetének kijelölése is; ehhez 8–10 oppozícióban történt megfigyelési sorozatra mindenképpen szükség van.

Megemlítjük még a „kaotikusan” változó kisbolygókat (pl. Toutatis), amelyeket eddig még nem sikerült meggyőzően modellezni. A legjobb modellek azok, amelyek két független tengely körüli egyidejű forgást feltételeznek.

egyező fényességértékek tartoznak hozzájuk. Ekkor a cél a tengelyarányoknak, a rotáció irányának (prográd vagy retrográd) és a forgástengely éggömbön vett dőfspontjának megállapítása lehet. Ezek az adatok jól közelíthetőek három oppozíció fénygörbéiből is, 7–8 oppozíció megfigyelései pedig meglepően pontos modellezést tesznek lehetővé. (Például kb. 3–5 fok bizonytalanság a tengelyirányok esetében.)

Hogyan történik a modellezés? Erre nagyon sok eljárást dolgoztak ki. A mostanság legelterjedtebb módszer

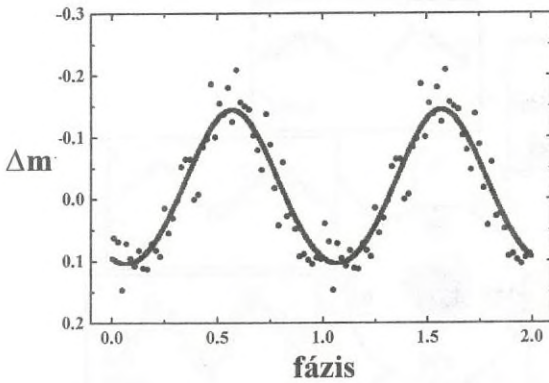


2. ábra. Az (532) Herculina aszimmetrikus fénygörbéje és változásai egy keringés során

1997. február 21. és március 2. között a (73) Klytia aszteroida fényváltozását követük nyomon a JATE ST-6-os CCD-kamerájával és 28 cm-es Celestron Schmidt-Cassegrain-távcsövével. A mérések kiértékelése után egyszerű fázisdiszperziós módszerrel $0,3454 \pm 0,0003$ napos szinodikus forgási periódust kaptunk, amely egyébként átlagosnak mondható. A megfigyelt amplitúdó viszont meglepően magas értékűnek adódott, 0,28 magnitúdós fényváltozással. A fénygörbe két minimumot és két maximumot tartalmaz, és szinte teljesen szimmetrikusnak tűnik. Így valószínűleg a Klytia modellje egy egyszerű háromtengelyű ellipszoiddal jól leírható.

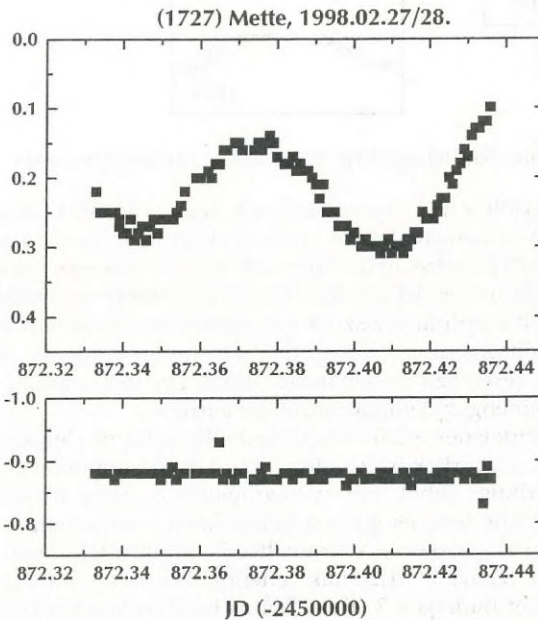
Sajnos az előző megfigyelések elégtelenek a háromtengelyű ellipszoid modelljének pontos leírásához. Ami azonban a fénygörbék összevetése után látszik: minden előző görbe majdnem teljesen szimmetrikus. Ebből már valószínűsíthető, hogy minden helyzetben felvett görbe szimmetrikus lesz, és így a későbbiekben használhatjuk a legegyszerűbb modellt is, a forgási ellipszoidot. A fényváltozás amplitúdója miatt a kisbolygó a/b tengelyeinek arányát legalább 1:1,26-nak vehetjük. Ennek a modellnek a fénygörbére alkalmazott illesztését mutatja a 3. ábra. Sajnos további következtetésekre nem alkalmas a kisbolygó adata, ehhez további megfigyelések szükségesek.

A további észlelések Piszkestetőn készültek, 1998. január 4–6. (Tombaugh) és február 27–március 2. között (Mette, Hunnia). A Tombaugh szinodikus periódusa 6,150 órának adódott, és a részben töredékes görbe ellenére is meg tudtuk határozni a modelljét egy 1,33:1,21:1 tengelyarányú ellipszoid alakjában, 183 ± 10 fokos hosszúságú és 51 ± 12 fokos szélességű forgástengellyel.



3. ábra. A Klytia fénygörbéje (pontok), és az illesztett modell fényváltozásai (egyenes)

keszteni hosszú megfigyelési adatsorból. Szerencsére a két minimum és az amplitúdó jól leolvasható a görbéről, így ezek az eredmények a későbbiekben jól használhatóak lehetnek.



4. ábra. Az (1727) Mette fénygörbéje 1998. február 28-án
rejt diákkori munkám keretében használhattam.

A Hunniáról a mi észleléseink jelentik a „világpremier”, mivel még senki nem mérte korábban ezt a kisbolygót. Sajnos a periódus extrém hosszúságúnak adódott a maga 17,22 órási értékével, így a kapott görbe a hosszú megfigyelési adatsor ellenére is csak a két minimum környékét tartalmazza. A két maximum igen aszimmetrikus helyzetű, amint az sejtethető a kapott fénygörbe alapján. Az amplitúdó 0,3 magnitúdó, így elég szép görbét lehetne belőle szerkeszteni.

Az (1727) Mettéről szép előző görbék találhatók az APC-ben (Asteroid Photometry Catalog), így egészen pontos modellt tudtunk meghatározni erre az égitest-re. A sziderikus periódus $0,1325864 \pm 0,0000007$ napnak, kb. 3,18 órának adódott. A forgás prograd irányú, a tengely koordinátái $(126 \pm 5, 56 \pm 5)$ fok). Az alakmodell egy 2,93:1,89:1 tengelyarányú, elnyúlt ellipszoid. A kapott fénygörbét a 4. ábrán közöljük.

Ezúton is megköszönöm a JATE Fizikus Tanszékcsoportjának szíves támogatását mind a mérések végzésében, mind a kiértékelésében. Köszönettel tartozom még az MTA Csillagászati Kutatóintézetének, amiért a Piszkés-tetői Observatórium műsre-

SZABÓ GYULA