

Csillagászati laboratórium I.

5. óra: Kisbolygók CCD asztrometriája

1. A labor célkitűzése

A gyakorlat célja egy kisbolygó azonosítása CCD képpárokon, és parallaxisának, majd ebből a távolságának meghatározása.

2. Elméleti háttér

2.1. Bevezetés

A csillagászat három nagy ága, az asztrometria, a fotometria és a spektroszkópia közül az égitestek helyzetének meghatározásával foglalkozó asztrometria a legősibb, hiszen „már a régi görögök is...” foglalkoztak vele. Hipparkhosz i.e. 134-ben készítette az első csillagkatalógust, mely 850 fényes csillag koordinátáját tartalmazta. Majd két évezreddel később ezek a mérések is segítettek Halleyt abban, hogy felismerje a csillagok sajátmozgását, és kimondhassa, a csillagok nincsenek rögzítve az égen, hanem hatalmas távolságokat barangolnak be. Kepler előtt persze sokkal fontosabbak voltak a bolygók, melyek helyzetének megméréssel minden valamire való korabeli csillagász foglalkozott, remélve, hogy mérései segítségével sikerül pontosítani a bolygómozgási táblázatokat.

Miután a heliocentrikus világképben a helyükre kerültek a bolygók, előtérbe kerültek a bolygók holdjai és az üstökösök, melyek mindig újabb és újabb feladatot adtak az asztrometriával foglalkozóknak. A kisbolygók felfedezése csak növelte az igényt a mind több és pontosabb mérés iránt. Az üstökös- és kisbolygóasztrometria hajnalán amatőr és profi csillagászok együtt versengtek a dicsőségért, ám a fotográfia csillagászati alkalmazása fokozatosan kiszorította a vizuális észlelőket az asztrometriából. Az amatőrök által használt hajlékony fotóanyagok nem tették lehetővé a megkívánt $1''$ -es pontosság elérését. Az amatőr asztrometristák hallgatását a japánok törték meg a 70-es évek végén. Többnyire Wright-Schmidt, vagy Beaker-Schmidt rendszerű kamerákkal, merev fotóanyagokkal és a tőlük megszokott rengeteg szorgalommal egész szép eredményeket értek el. Az S. Ueda, H. Kaneda párosnak jelenleg 230 sorszámozott kisbolygója van, ami a 9. helyezést jelenti a felfedezők sorrendjében, de ez a szám hónapról hónapra növekszik.

Később Európában és Amerikában is történtek próbálkozások, kisebb-nagyobb sikerrel, ám mielőtt még jobban elterjedhetett volna a fotografikus kisbolygó asztrometria, jött a CCD és forradalmasította az egész amatőr csillagászatot.

2.2. Kisbolygók asztrometriája

Kisbolygók CCD asztrometriájára bármely távcső alkalmas, mely a használt CCD detektorral eléri a $2-2,5''$ /pixeles felbontást. Így van esély arra, hogy a kimérés pontossága elérje az $1''$ -et. Jobb felbontás természetesen növeli a pontosságot, ám vigyázni kell arra, hogy egy gyors mozgású földszűrő kisbolygó hamar több pixelre kenődhet szét, és egy vonal két végpontjának kimérése sokkal zűrösebb, mint egy pont kimérése. Ráadásul kisebb pixelek, vagy nagyobb fókusztávolság (így érhető el jobb felbontás) esetén csökken a rögzített terület mérete, ami a referenciacsillagok számát a minimálisan megkívánt alá csökkentheti. Megoldás lehet egy több pixelből álló CCD chip, de ez a kamera árát is jelentősen növeli. Optimálisnak tekinthető az $1-2''$ /pixel közötti felbontás, és a legalább $10'$ -es látómező.

A pontos pozíciók meghatározása a CCD képek alapján szerencsére nem túl nehéz feladat. A CCD éra beköszöntével, ill. a számítástechnika fejlődésével párhuzamosan igen megbízható képanalizáló eljárások, esetünkben ún. csillagkereső algoritmusok születtek. A pontszerű források (csillagok, kisbolygók)

képei viszonylag egyszerűen behatárolhatók, mint a háttér szórásából jelentős mértékben kiemelkedő, ill. a leképezés minősége által meghatározott profillal rendelkező csúcsok. A felvételek pixel/ívmásodperces felbontásától függő pontossággal illeszthető a profilokhoz valamilyen analitikus függvény, ami az esetek többségében egyszerű kétdimenziós Gauss-görbe. Az analitikus függvény előnye, hogy egzaktul ki lehet számítani a maximumát az XY pixel-koordináta-rendszerben, mégpedig a tapasztalatok szerint néhány tizedpixel pontossággal. A csillagok és a vizsgált kisbolygó képsíkbeli koordinátáit a profiljukhoz illesztett függvények maximumhelyeiként értelmezhetjük, ami az első lépés az égi koordináták meghatározásához.

Néhány ismert koordinátájú csillagok együttesét kiválasztva a képen meghatározhatjuk az XY koordinátákról a rektanszcenzió-deklináció koordinátákra való átváltást megvalósító ún. lemezkonstansokat (az elnevezés még a fotografikus korszakból származik). Általános esetben a két koordináta-rendszer egymáshoz képest eltolt kezdőpontú, átskálázott egységű, ill. elforgatott tengelyű. A matematikában ezeket a síkbeli műveleteket 2×2 -es mátrixokkal valósítjuk meg, melyeket négy szám jellemez. A pontos részleteket mellőzve csak annyit érdemes megjegyezni, hogy az említett három műveletet be lehet „zsúfolni” egy mátrixba is, amelyben négy együtttható szerepel és ezek a lemezkonstansok. Öt-hat, pontos koordinátájú alapszillag segítségével (ezeknek tehát a képen meghatározott XY, ill. katalógusokból az égi koordinátáit felhasználva) a lemezkonstansok már kiszámíthatók legkisebb négyzetes illesztéssel.

Mindaddig hallgatólagosan feltételeztük, hogy a képeken látható csillagok égi koordinátáit valahonnan ismerjük. Manapság már a minimális követelmény az ívmásodperces pontosság, amihez többféle csillagkatalógust is felhasználhatunk. Viszonylag széles körben elterjedt Magyarországon a Hubble Guide Star Catalogue, amely 15 magnitúdós határfényességével és 0,2–0,5 ívmásodpercen belüli pontosságú koordinátáival az átlagos igényeket messze kielégíti. Aki nagyobb műszert, kisebb látómezőt, vagy érzékenyebb detektort használ, az US Naval Observatory munkatársai által összeállított USNO-SA1.0 katalógushoz forduljon, ami 20 magnitúdós határfényességével és 0,2 ívmásodperces pontosságával a legprofibb célokra is megfelel. Ez utóbbi egyrészt elérhető a <http://asteroid.lowell.edu> oldalon, másrészt ingyenesen terjesztett CD-n is megrendelhető az US Naval Observatory-tól. 54 millió csillag, négyzetfokonként átlagosan 1500 objektum – ezek a legfontosabb paraméterei. (Sárnecky K. és Kiss L. cikke alapján)

3. A mérés menete

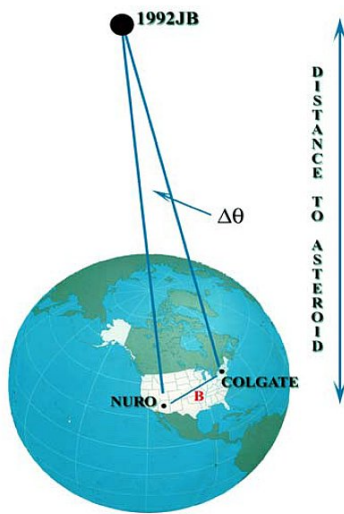
Blinkelés

A méréshez az Astrometry of Asteroids nevű CLEA programot használjuk. A programhoz tartozik egy sorozat, kb. $4'$ látómezőjű CCD felvétel az 1992JB jelű kisbolygóról. Először töltsük be a 92JB05.FTS nevű képet a **File** → **Load Image Files** → **Image 1** menüpontokon keresztül. A betöltött kép megjelenítése az **Images** → **View/Adjust...** menüpontokon keresztül történik.

A képeken mocorgó kisbolygót blinkeléssel fogjuk megkeresni. Ez azt jelenti, hogy az azonos égtérületről készült képpárokat úgy toljuk (forgatjuk, skálázzuk, ha kell) egymáshoz, hogy a csillagok fedésbe kerüljenek rajtuk, és felváltva hol az egyiket, hol a másikat jelenítjük meg, így a mozgó kisbolygó azonnal kitűnik a mozdulatlan csillagmezőből.

Következő lépésben töltsünk be egy másik, mondjuk a 92JB07.FTS nevű képet: **File** → **Load Image Files** → **Image 2**, majd fogjunk hozzá a blinkeléshez: **Images** → **Blink...** Ekkor a program megjeleníti az első képet, miközben felszólít egy parancsablakban, hogy válasszunk ki egy referenciacsillagot a képen (Select the 1st alignment star on Image 1). Az egérrel klikkeljünk rá egy szimpatikus csillagra, és nyomjuk meg a **Continue** gombot. Ekkor a program megkér, hogy válasszunk ki még egy csillagot. Tegyük meg ezt is, lehetőleg a kép átellenes sarkából, hogy pontosabb legyen a képek összeigazítása. Ha ezzel megvagyunk, akkor feltűnik a második kép, amin ugyanebben a sorrendben jelöljük meg a két referenciacsillagot. Ha ezzel is megvagyunk, akkor a kép felett megjelenő **Blink** menüpontra kattintva elindul a blinkelés, amit a **Stop** menüpontra tudunk megszakítani.

A parallaxis meghatározása



1. ábra. Az 1992JB kisbolygó parallaxisának értelmezése

A labor fő feladata, hogy a fenti kisbolygó parallaxisát és távolságát kimérjük egy szimultán készült képpárról, amelyeket a New York-i Colgate University 80 cm-es és az arizonai Lowell Observatórium 40 cm-es távcsöveivel készítettek azonos időpontban (1992. május 23., 6:57 UT-kor). Mivel a kisbolygó sokkal közelebb van, mint a képen rögzített háttércsillagok, ezért a Föld két, távoli pontján, egyidőben készült felvételeken más pozíciókon látszik. Ha ismerjük a két észlelőhely közötti B térbeli távolságot (vagy bázistávolságot) km-ben, és meghatározzuk a felvételpárokban az objektum $\Delta\theta$ pozícióeltérését, vagyis parallaxisát ívmásodpercben, akkor a kisbolygó D távolsága km-ben:

$$D = 206265 \frac{B}{\Delta\theta} .$$

A két kimérendő kép ASTEAST.FTS (Colgate) és ASTWEST.FTS (Lowell) néven található meg az képkönyvtárban. Blinkeléssel keressük meg a képeken a kisbolygót, majd mérjük ki a koordinátáit! A képek asztrometriáját az **Images** → **Measure** menüpontban végezhetjük el. A meg-

felelő képet kiválasztva a program megjeleníti a kisbolygóról és környezetéről készült felvételt, valamint a FITS kép fejlécében tárolt koordináta-információk alapján a GSC csillagkatalógusból a vizsgálandó kép koordinátáira centrált térképet. Az asztrometriához először a térképen ki kell jelölni legalább három referenciacsillagot, majd ezeket, valamint a kisbolygót meg kell jelölni a CCD felvételen is. Ezután a program a referenciacsillagok alapján kiszámítja a lemezkonstansokat, és a kisbolygó égi koordinátáit. A jegyzőkönyvbe jegyezzük fel azt is, hogy mely csillagokat használtuk referenciának.

Ezek után a kisbolygó parallaxisa egyszerűen a kimért koordináták különbségéből határozható meg. Ezt a legcélszerűbb úgy elvégezni, hogy kiszámítjuk a deklináció- és rektaszcenzióbeli pozíciókülönbségeket ívmásodpercben, majd egyszerűen a Pitagorasz-tételt alkalmazzuk. Ügyeljünk arra, hogy gömbháromszögtani koordinátákkal dolgozunk, és a rektaszcenziót nem fokokban, hanem órában mérjük! (Segítség: a rektaszcenzió-különbség ívmásodpercben: $\Delta RA \cdot 15 \cdot \cos(\text{Dec})$, ha a ΔRA -t óra-másodpercben mérjük.)

Kérdések:

- Mekkora volt az 1992JB kisbolygó távolsága a mérés időpontjában, ha az észlelőhelyek bázistávolsága 3172 km? A távolságot adjuk meg km-ben és CSE-ben is!
- Hasonlítsuk össze ezt a távolságot a holdtávolsággal! Hányszor volt messzebb/közelebb a kisbolygó, mint a Hold?
- A távolsága alapján milyen kisbolygó lehet az 1992JB? Földszúró? Trójai? Főövbeli? Esetleg Kuiper-objektum? Miért?