



CCD technika

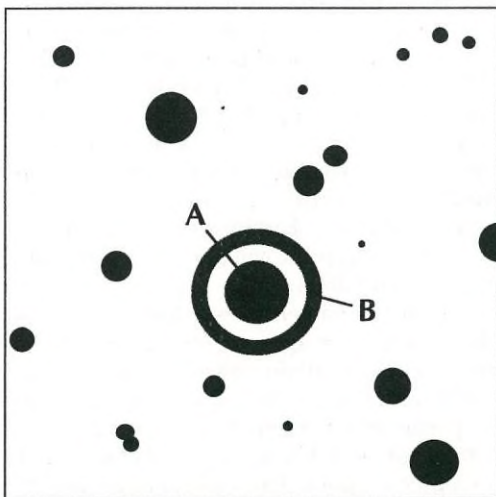
Távolságmérés CCD-vel

Ahogy az előző számban ígértük, lássunk egy alkalmazást, amelyben a CCD kamerás felvételek alapján csillaghalmazok fizikai paramétereit, jelen esetben távolságukat lehet meghatározni. Egy szegedi, a JATE-n elvégzett mérés ismertetése kerül most közlésre, előtte azonban a jobb érthetőség céljából essék néhány szó a fotometriáról és a nyílthalmazokról!

Fotometria. Egy fotometriai mérésnél a csillagok fényességét határozzuk meg különböző hullámhosszakon, mely fényességadatok alapján a csillagok fizikai, kémiai tulajdonságaira lehet következtetni. A CCD-s fotometriának az az előnye a hagyományos, fotoelektron-sokszorozó csöveket használó mérési technikával szemben, hogy egyszerre több csillag fényességét lehet mérni. Ez elsősorban nyílt- és gömbhalmazok fotometriájánál igen fontos, hisz a több száz, több ezer csillagot nem egyesével, hanem egy képen ki lehet mérni, azaz meg lehet határozni a csillagok fényességét.

A fényesség meghatározása alapvetően kétféle módon történhet. Az egyiket apertúra, a másikat illesztéses fotometriának nevezzük. Az első egyszerűbben megvalósítható módszer, a második kissé bonyolultabb, azonban jó minőségű képeknél pontosabb eredményt ad. Ezek az eljárások akár automatizálhatók is, azonban általában igen bonyolult lépéseket követelnek meg. Ezekkel most nem foglalkozunk, csupán a két eljárás alapelveit mutatjuk be.

Az apertúra fotometria lényege, hogy egy mintavételező alakzatot (négyzetes pixelek esetén kör, téglalap alakú pixelek esetén ellipszis) a csillag képére mozzgatunk (l. 1. ábra, A alakzat), majd az ez alatt lévő pixelek intenzitásértékeit összeadjuk, legyen ez S_A összeg. A B jelű maszk, amely koncentrikus az A alakzattal, a háttér fényességét mintavételezi. Erre azért van szükség, mert az S_A összeg tartalmazza a háttér fényességét is, amít ebből majd le kell vonni. A kivonandó összeg a B maszk alatti pixelek intenzitásának összegéből, S_B -ből számolható. A szakirodalom-

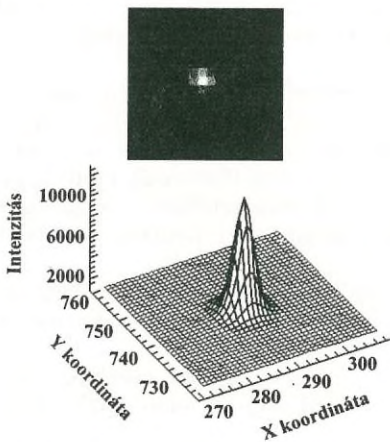


1. ábra. Az apertúra fotometria két mintavételező maszkja

ban A és B alakzatok együttese jelenti az apertúrát. Ezen adatokból a csillag instrumentális magnitúdóját már egy egyszerű formula szolgáltatja.

Így az egyedülálló, vagy nyílthalmazokhoz tartozó csillagok fényességét könnyedén meg lehet határozni. Azonban pl. egy gömbhalmaz esetén ez már nem megy, hiszen a zsúfolt csillagmezőben B -t igen nehéz úgy megválasztani, hogy ne lógjon bele egyetlen környező csillagba sem. További problémát jelent az apertúra külső és belső gyűrűjének helyes méretmegválasztása is, stb., azonban most ezekkel nem szeretnénk foglalkozni.

A másik módszer az illesztéses fotometria. A csillagok profiljának alakját egymástól gyökeresen eltérő mechanizmusok határozzák meg. Ilyenek pl. a légköri hatások, optikai elemek hibái, ill. a távcső mechanikájának hiányosságai. Ideális esetben, azaz irányfüggetlen hatást feltételezve, ezen folyamatok együttese haranggörbévé formálja a csillagszerű objektumok képét. Ez a matematika nyelvén azt jelenti, hogy rövid időskálán a pontszerű fényforrások képei normális eloszlású ingadozásokat mutatnak. Mivel ezek a folyamatok objektumtól függetlenek, minden csillag képe azonos kiszélesedést mutat, ezek csupán amplitúdóikban térnek el egymástól. Vagyis egy felvételen az egyes csillagok profilja, keresztmetszeti képe jól közelíthető egy harang-, vagy Gauss-görbével (l. 2. ábra). Ennek a görbének az alakját, lefutását egyértelműen megszabja egy paraméter, mely egy adott felvétel esetén minden csillagra ugyanaz. Pusztán a görbe „magassága” változik, a csillagok intenzitásának, vagyis fényességének függvényében. A fényesség meghatározása itt az illesztett görbe alatti terület kiintegrálásával történik.



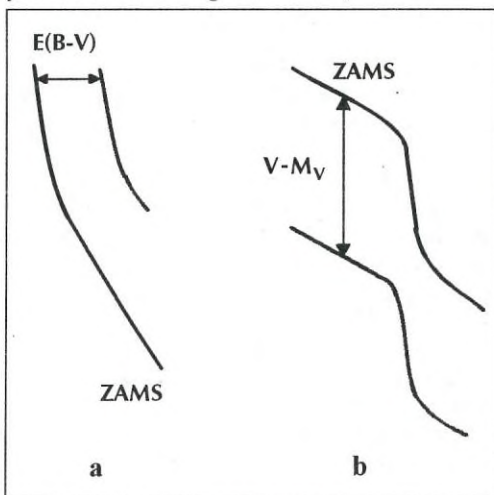
2. ábra. Egy csillagprofil perspektivikus ábrázolásban. Jól látható, hogy az alakzat igen közel áll egy kétdimenziós Gauss-görbéhez. Felette a csillag képe kinagyítva látható

változtatást alkalmazzák a CCD kameráknál.

A kapott instrumentális magnitúdókat ebbe a standard rendszerbe kell transzformálni a már említett okok miatt. Ez korántsem olyan egyszerű feladat, mivel egy sokismeretlenes egyenletrendszert kell megoldani. Ebben a távcsőre, a detektorra és

a szűrőkre jellemző értékek szerepelnek, amiket a standard csillagok mérésével lehet meghatározni (l. a cikkben). Továbbá a légkör fénygyengítő hatását is korrigálni kell, az ún. extinkciót, ami újabb egyenletrendszerek megoldását, és az abban szereplő együtthatók meghatározását jelenti. (A fotometriáról bővebben olvashatunk a Csillagok távcsővégen c. könyvben, mely az MCSE-nél megrendelhető.)

Nyílthalmazok. A nyílthalmazok nem igényelnek olyan általános bemutatást, mint a fotometria, hiszen az olvasók döntő többsége már találkozott néhányukkal a távcső okulárjában. A következő cikk kapcsán azonban megemlíthető néhány, talán kevésbé közismert dolog. A nyílthalmazok csillagai egy helyen, és nagyjából egy időben keletkeztek. Ezek fiatal társulások, vagyis szinte minden tagjuk a Hertzsprung–Russell-diagramon (HRD) a fősorozaton található. (A HRD-ről bővebben l. A csillagok távcsővégen, vagy A távcső világa c. könyvet.) A fotometriai mérésekből fel tudjuk rajzolni a halmazok szín–fényesség diagramját, ami ugyan kissé különbözik a HRD-től, de azzal azonos értékű. A szín–fényesség diagramon az egyik tengelyen a fényesség, a másikon valamelyik színindex van feltüntetve (l. a cikk 3. ábráját). Ugyanezen a diagramon el tudunk helyezni egy olyan görbét, ami egy fősorozatot rajzol ki. Ez az ideális fősorozat, az ún. ZAMS (Zero Age Main Sequence = nullkorú fősorozat), mely 10 pc távolságra lévő fősorozati csillagokból áll (vagyis a fényességértékek a függőleges tengelyen az abszolút fényességek). A halmaz csillagai által kirajzolt fősorozat azonban nem illeszkedik erre, két ok miatt:



3. ábra. A fősorozat-illesztés két lépése

• a halmaz és a megfigyelő közötti csillagközi felhők is fényelnyelő hatást fejtenek ki, ez az interstelláris vörösödés, ami egy vízszintes irányú eltolást jelent a diagramban (l. 3/a. ábra, E(B-V)),

• a halmaztagok nem 10 pc távolságban vannak, vagyis a nagyobb távolság miatt halványabbnak látszanak, ez egy függőleges irányú eltolást jelent (3/b. ábra, $V-M_V$).

Ez utóbbi függőleges eltolásból a halmaz távolságára lehet következtetni, mint arra egyszerű megfontolások után saját magunk is rájöhettünk. Képlettel kifejezve a halmaz d távolsága:

$$V-M_V = -5 + 5 \cdot \log d$$

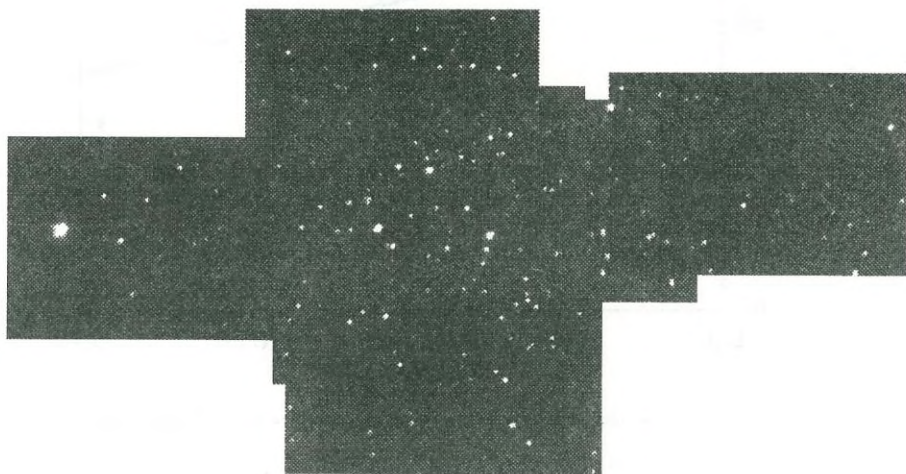
Ezt az eljárást nevezzük fősorozat-illesztésnek. Ezzel az eljárással akár a halmazok korát is meghatározhatjuk, ugyanis az a pont, ahol a halmaz csillagai alkotta fősorozat elkanyarodik a ZAMS-tól, az jellemző a halmaz korára.

Ennyi bevezető után lássuk a mérés ismertetését!

Távolságmérés CCD kamerával

A CCD kamerák fotometriai, asztrometriai mérések elvégzésére is kitűnően alkalmazhatók. Én a szakdolgozatom révén ismertem meg közelebbről ezeket a detektorokat. A téma a különböző távolságmérési eljárások mérésen keresztül történő bemutatása, illetve összehasonlítása volt. A bemutatott módszerek egyike éppen a nyílthalmazok CCD fotometriája volt. A mérésekhez olyan objektumokat választottunk célpontul, amelyek cefeidát tartalmaznak, mivel az általam írt szakdolgozat másik fele a cefeidák fotoelektromos fotometriáját, illetve ezek periódus-fényesség relációja alapuló távolságmérését tartalmazza. Így esett a választás az NGC 129 és az NGC 7790 nyílthalmazokra. Mindkettő a Cassiopeia csillagképben található (NGC 129: RA = $00^{\text{h}}29^{\text{m}}54^{\text{s}}.9$, D = $+60^{\circ}13'34''.28$, NGC 7790: RA = $23^{\text{h}}58^{\text{m}}26^{\text{s}}.19$, D = $+61^{\circ}12'41''.94$).

1996. október elején 4 éjszaka végeztünk méréseket a szegedi JATE 28 cm-es Schmidt-Cassegrain típusú távcsövével és a rászerezett ST-6-os CCD kamerával (B,V,R és I Kron-Cousins rendszerű szűrők). A méréseket szürkületben kezdtük, hogy megfelelő számú flat-field képet tudjunk készíteni. A flat-korrekciót az előbbi képek kiátlagolása után keletkezett felvételekkel végeztük. A sötétkép készítés és az ebből adódó hibák javítása automatikusan történt az egyes expozíciók után. Az NGC 129-ről éjszakánként 8 kép készült, mivel ez egy viszonylag nagy kiterjedésű ($d > 21'$) halmaz és az egyes felvételek csak kis részét fedték le.

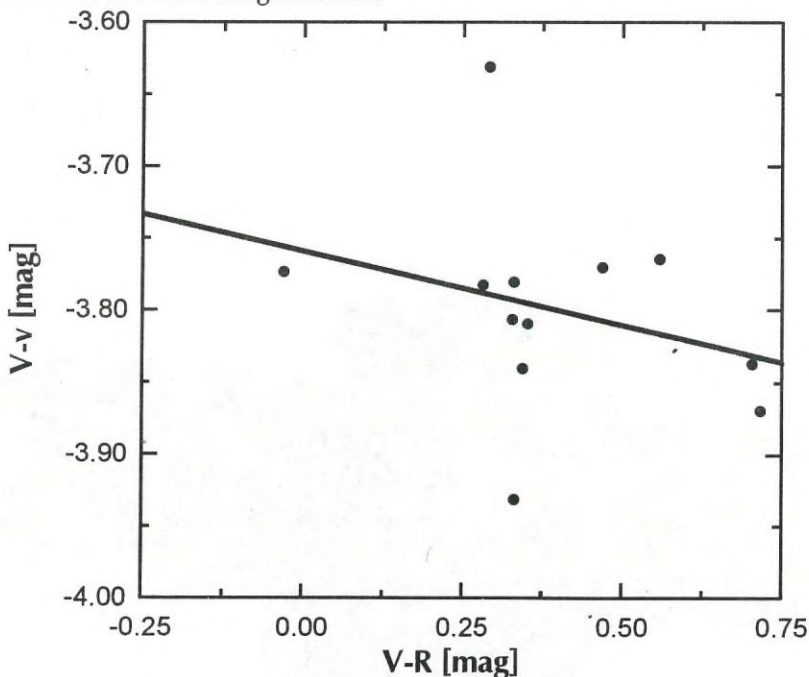


1. ábra. Az NGC 129 R szűrős mozaikképe

Az integrációs idő mindegyik képnél 60 s volt. Az átfedett területekre eső csillagokat részletes halmaz-térképek segítségével azonosítottuk, és ha több mérési adat született rájuk, akkor azokat átlagoltuk. Összesen 134 db olyan csillag volt, amely a különböző szűrőkön keresztül készült képek mindegyikén látható.

Az NGC 7790 egy kompakt halmaz. Kis területen rengeteg (több száz) csillagot tartalmaz, de a többség 15 magnitúdónál is halványabb. (Az ST-6-osnál, Szeged belvárosából kb. 13^{m} az a határ, ahol még szűrőn keresztül pontosan fotometrállhatunk.) Probléma volt még az is ennél a halmaznál, hogy sok csillag össze-

olvadva vagy érintkezve látszott. Ezek a feldolgozás során hamis eredményt szolgáltatnak. A képek kiértékelésére többféle programot is választhatunk. Például a CCDOPS-ot, az IRAF-et vagy a MIDAS-t. Ezek részletes ismertetésére nem térünk ki. (A későbbiekben ezek a szoftverek a bemutatásra kerülnek. — A szerk.) Fontos viszont, hogy olyan programot válasszunk, amit még az adataink „elbírnak”. Ha sikeresen beszereztük a megfelelő szoftvereket és kellően megismerkedtünk velük, akkor előbb-utóbb kezünkbe kaphatjuk a képekhez tartozó koordinátákat (a csillag azonosítására szolgál), és instrumentális magnitúdókat tartalmazó fájlt. Ezen mérések kiértékelése az IRAF-fel történt. Az eredményekből kitűnt, hogy a szegedi asztróklima és a távcső, ill. a detektor tulajdonságai nem igazán kedvezően befolyásolták a B szűrős adathalmazt, ezért a V és R-beli magnitúdók kerültek felhasználásra a további vizsgálatokban.



2. ábra. A transzformációs együtthatók meghatározására szolgáló diagram;
 $\varepsilon = -0,1035$, $\xi_V = -3,76$

Ezután következett a kapott értékeknek egy standard nemzetközi rendszerhez való igazítása. Erre azért van szükség, hogy a különböző távcsövekkel, más érzékenységgű detektorokkal, eltérő légköri viszonyok mellett dolgozó megfigyelők az eredményeiket össze tudják hasonlítani. Az általunk használt fotometriai rendszer a Johnson-féle szűrőkkel rendelkező UBVRi-rendszer. A transzformációs egyenlet V-re és a V-R színindexre (a B-V, U-B-re hasonlóan):

$$\begin{aligned}
 V &= v_0 + \varepsilon(V-R) + \xi_V \\
 (V-R) &= \psi(v-r)_0 + \xi_{VR}
 \end{aligned}
 \tag{1-2}$$

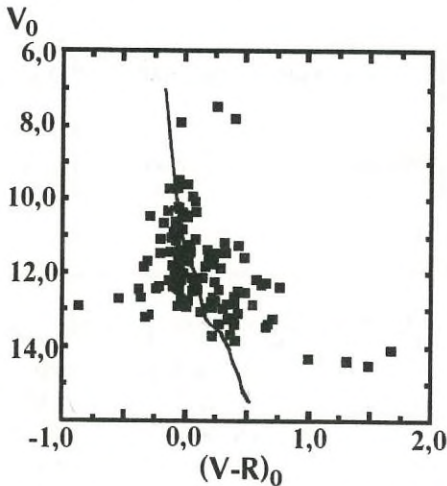
ahol ϵ , ψ transzformációs együtthatók; ξ_V , ξ_{VR} pedig a zérusponthoz állandók. A v_0 a V-beli instrumentális magnitúdó, $(v-r)_0$ a V és az R-beli különbsége. A transzformációs együtthatókat együtt távcsőkonstansoknak is szokták nevezni. A meghatározásukhoz sztenderd csillagokat kell megfigyelni, amelyeknek ismert a V fényessége és V-R színindexe, melyeket az 1. és 2. egyenletekben V, ill. (V-R) jelöl. Ábrázolva a $V-v_0$ -t a V-R és $V-R$ -t a $(v-r)_0$ függvényében, továbbá a pontokra egyenest illesztve a meredekség megadja az adott transzformációs együtthatót vagy azok konstansszorosát. Pl. megnézve az 1. egyenletet, az $V-v_0 = a \cdot x + b$ alakban áll elő, ami egy olyan egyenes egyenlete, ahol $x = V-R$. Tekintsünk egy olyan diagramot, ahol az y tengelyen a $(V-v_0)$ -t ábrázoljuk, ezt a standard csillagoknál a katalógusban rögzített, ill. az általunk mért V fényességek különbsége szolgáltatja. Az x tengelyen a (V-R) értékeket tüntetjük fel, amelyek a standard csillagoknál szintén adottak a katalógusokban. Ebben a diagramban ábrázolva méréseinket, és a kapott értékekre egyenest illesztve annak meredeksége (a) megadja ϵ -t, míg az egyenes egyenletében szereplő b ξ_V értékét szolgáltatja, l. 2. ábra.

Aki idáig eljut, az már vissza ne forduljon, habár a legnehezebb dolog következik. Becslést kell adni, hogy a galaxisunkban lévő csillagközi por és gáz adott esetben mennyit nyel el a hozzánk érkező csillagok fényéből. Ez az ún. vörösödés-probléma, amelynek számszerű értékét az $E(V-R)$ vagy az $E(B-V)$ ún. színexcesszusokkal adhatjuk meg. Az $E(V-R)$ tulajdonképpen nem más, mint a megfigyelt és a „tisztá” (V-R) színindexek különbsége. Ha ennek értékét valahogy még tudjuk határozni, vagy a szakirodalomból kikeressük (ez az érték nem állandó, minden irányban más és más, azonban pontos meghatározása igen nehéz feladat), akkor a következő egyenletek alapján a csillagok valódi fényességét is megmondhatjuk:

$$V_0 = V - R \cdot E(B-V) = V - \frac{R}{0,84} \cdot E(V-R) \quad 3-4$$

ahol R a totális és az ún. szelektív elnyelés hányadosa, értéke igen jó közelítéssel 3,0.

Én a vörösödést úgy határoztam meg, hogy kiválasztottam a halmazból az ismert spektráltípusú tagokat. Adott spektráltípushoz fősorozati csillagok esetén elméleti úton számított „tisztá” V-R értékek tartoznak. A mért és a referenciabeli V-R-ek különbsége éppen az egyes csillagokra érvényes $E(V-R)$. Ha elég sok (a halmazban szétszórtan elhelyezkedő) csillagra meg tudjuk határozni, akkor kellő körültekintéssel vehetjük ezek átlagát a halmaz homogén vörösödésének. Az NGC 129 és az NGC 7790 esetén is az $E(V-R) = 0,38$ -nak adódott. Ha valamilyen okból kifolyólag nem tudjuk számszerűsíteni a mért objektum vörösödését, akkor irodalmi adatokat használunk, de semmiképpen ne hanyagoljuk el a korrekciót.



3. ábra. Az NGC 129 szín-fényesség diagramja és az illesztett nullkorú fősorozat

Már majdnem célhoz értünk. Nincs más hátra, mint hogy a nemzetközi rendszerbe áttanszformált és vörösödéssel korrigált V_0 fényességeket ábrázoljuk a hasonló tulajdonságú $(V-R)_0$ függvényében. Így megkapjuk a nyílthalmazok szín-fényesség diagramját, ami a távolság meghatározásához feltétlenül szükséges.

Ugyanebben a koordináta-rendszerben kell ábrázolni az ún. nullakorú fősorozatot (ZAMS). A két görbe egymáshoz képest való elcsúszása éppen a távolságmodulus. Ebből pedig az 5. képlet alapján számolhatjuk a d távolságot parsekben:

$$V_0 - M_V = -5 + 5 \cdot \log d \quad 5$$

A következő táblázatban a két nyílthalmazra meghatározott távolságmodulusokat és távolságokat foglaltam össze, valamint összehasonlítóképpen egy hivatásos csillagászok által, nagyobb műszerekkel elért eredményt. Láthatóan kis távcsővel is viszonylag pontos eredményt tudunk elérni, igaz, megnövekedett bizonytalanság mellett. (Az említett referenciák esetén az első esetben egy 130, a másikban egy 152 cm-es távcsövet használtak.) Tehát érdemes próbálkozni kis műszerekkel is.

	NGC 129		NGC 7790	
	$V_0 - M_V$	d (pc)	$V_0 - M_V$	d (pc)
szegedi mérés	$11^m,0 \pm 0,15$	1585 ± 113	$12^m,5 \pm 1,0$	3162 ± 1850
referencia	Turner et al. 1992 $11^m,11 \pm 0,02$	1670 ± 13	Romeo et al. 1989 $12^m,65 \pm 0,15$	$3388,44 \pm 242$

Végül, de nem utolsó sorban pedig ezúton is szeretnék köszönetet mondani dr. Vinkó Józsefnek, a JATE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszéke tudományos főmunkatársának, aki megtanított a CCD kamera kezelésére és a szakdolgozatom elkészítésében mindenben segítségemre volt.

SIMON DÓRA

Legközelebb szintén egy szegedi mérés eredményeit mutatjuk be, amelyben kisbolygók megfigyelésére használtak CCD kamerát.

Fűrész Gábor

Helyreigazítás: Az 1997. decemberi szám CCD rovatában a 4-es és az 5-ös ábra aláírása felcserélődött.

Csillagvizsgálók, kisplanetáriumok

építészeti tervezését vállalja

Szász Mária okl. építészmérnök

1114 Budapest, Bartók Béla út 11-13.

tel.: 186-2313