

Modern képfeldolgozó eljárások alkalmazása csillagászati égboltfelmérésekben

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Varga József
okleveles csillagász



Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar
Fizika Doktori Iskola, Részecskefizika és csillagászat program
Iskola- és programvezető: Dr. Palla László egyetemi tanár

Témavezető: Dr. Csabai István egyetemi tanár

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar
Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

Budapest, 2014

Bevezetés

Napjainkban a csillagászat, a többi tudományhoz hasonlóan, egyre nagyobb mértékben támaszkodik az automatizált, számítógépes adatfeldolgozásra, ami nélkül nem jöhettek volna létre az utóbbi évek nagy égboltfelmérései. Ahhoz, hogy a megfigyelésekből minél több, minél hasznosabb adatot nyerhessünk ki, kifinomult feldolgozó programokra van szükség.

Ebben a munkában korszerű képfeldolgozó eljárásokat mutatok be, valamint azt, hogyan lehet segítségükkel a csillagászati források különböző tulajdonságait – mint pl. fényesség, távolság, méret, alak – megmérni.

Azt tűztem ki célul, hogy a galaxisok alakmeghatározásának, és a halvány források detektálásának területén saját képfeldolgozó módszereket fejlesztek ki, melyek orvosolják a meglévő módszerek bizonyos hiányosságait. Módszereim alkalmazásával igyekeztem hozzájárulni ahhoz, hogy többet tudjunk meg a galaxisok fejlődéséről és aktivitásáról.

A galaxisok alakmeghatározása olyan kérdéseknél fontos, mint pl. a sokak által vizsgált *kozmosz nyírás*, vagy a galaxisok orientációi közti korrelációk (*orientációs effektusok*). Ezek tanulmányozásával a sötét anyag nagyléptékű eloszlását, a galaxisok kialakulásának dinamikáját, valamint a galaxisok és a sötét anyag kölcsönhatását lehet vizsgálni.

A rádió és optikai égboltfelmérések összevetésével számos olyan extragalaktikus forrást találtak, melyek rádióban fényesek, de optikaiban igen halványak. Az optikai észlelések híján ezen források természete sok éve vita tárgyát képezi, nem tudni például, milyen arányban lehetnek köztük csillagontó galaxisok, illetve aktív galaxisok (kvazárok). Az utóbbi évek tanulmányai rámutattak arra, hogy a kvazároknak létezik egy vörösödött, és emiatt optikaiban halvány populációja. Ezek a *porvörösített* kvazárok az aktív galaxisok egy korai fejlődési fázisát képviselik, amikor az aktív galaxismag még sűrű porral van körülvéve. A galaxismagból eredő *jetek* rádió sugárzását könnyen észlelhetjük, de

a központi régió optikai sugárzását nagyrészt eltakarja a por.

Alkalmazott módszerek

A digitális égboltfelmérésekben csillagászati források millióit tudják automatikusan detektálni. A távcsövek CCD-érzékelőivel digitális fényképeket készítenek az égről, a képeket aztán számítógépes programokkal dolgozzák fel. Nagyon fontos, hogy ezek a programok megbízhatóan mérjék meg a csillagok, galaxisok különböző paramétereit, pl. a fényességet, alakot, vöröseltolódást.

Az egyik általam tanulmányozott terület a galaxisok pozíciószögének, illetve orientációjának a vizsgálata volt. Spirálgalaxisoknál általában a galaxiskorong ellipszis alakú vetületét látjuk, így az orientáció megállapítható a kép ellipticitásának (tengelyarányának) és pozíciószögének mérésével. Megvizsgáltam az SDSS-galaxisok katalógusbeli pozíciószögeinek eloszlását, melyet hisztogramokon ábrázoltam.

A másik vizsgált terület a halvány források detektálása és fotometriája volt. Olyan technikákkal dolgoztam, a *képösszeadással* és *képhalmozással*, melyek a megfigyelési idő effektív kiterjesztésével lehetővé teszik a megfigyelések magnitúdóhatárainak a kiterjesztését. A képösszeadásnál ugyanarról az égterületről, míg a képhalmozásnál különböző égterületekről készült észleléseket adunk össze. Az utóbbi módszert a többhullámhosszú vizsgálatoknál lehet jól alkalmazni, amikor a források egy csoportját az egyik hullámhosszon detektálták, egy másikon meg nem. Az utóbbi hullámhosszon készült képeken a források ismert koordinátáin általában csak a sötét égi háttér látszik. Ha az ismert koordináták körül képkivágatokat készítünk, és azokat valamilyen statisztikával összekombináljuk, akkor megkapjuk a halmozott képet, ahol reményeink szerint láthatóvá válik az adott hullámhosszon egyenként nem detektált források átlagos fénye.

Az égboltfelmérések eredményeit katalógusokban teszik közzé, melyek sok esetben szabadon elérhetőek az interneten. Az optikai

Sloan digitális égboltfelmérés (SDSS, Sloan Digital Sky Survey) katalógusait relációs adatbázis-kezelő rendszerben kezelik, és szabványos SQL-lekérdezésekkel lehet az adatokhoz hozzájutni. Az SDSS 82-es sáv (S82) nevű égterületét az évek során 20–40 alkalommal fényképezték le, és az egyedi észleléseket összeadva egy mélyebb felmérést készítettek – ez az *S82 összeadott felmérés*. Ebben a munkában nagyban támaszkodtam az S82-felmérés adataira: egyrészt a katalógusokra, amelyek már készen tartalmazzák a felmért források optikai tulajdonságait, másrészt a felmérés eredeti képeire. Képfeldolgozó programjaimat IDL programnyelven írtam.

Tézisek

1. Kimutattam egy szisztematikus torzítást az SDSS modellillesztéses ellipticitás- és pozíciószög-adataiban. Azt találtam, hogy a torzítást a források radiális profiljainak 30° -os szektoronkénti felosztása, és a modellillesztés χ^2 -minimalizáló algoritmusának hibája okozza [2].
2. Kifejlesztettem egy izofóták ellipszisillesztésén alapuló alakmeghatározó módszert, ami mentes az előbbi szisztematikus torzítás-tól. Az új módszerrel az SDSS S82 összeadott képeit dolgoztam fel, és összeállítottam, illetve közzétettem egy *galaxisorientációs katalógust*, ami 26397 spektroszkópiailag osztályozott galaxis adatait tartalmazza [2].
 - Az új alakmeghatározó módszer a galaxisok megadott fényességű izofótájára (kontúrvonalára) ellipszist illeszt, és megadja az ellipszis kis- és nagytengelyét valamint pozíciószögét.
 - A galaxisorientációs katalógusban az alakra vonatkozó új információk mellett az S82-katalógusból származó adatok (magnitúdók, vöröseltolódás stb.) is szerepelnek.

3. Kifejlesztettem egy képhalmozási technikát, egy új maszkolási eljárással, amivel halvány, illetve bizonyos hullámhosszokon nem detektált forrásokat lehet vizsgálni [1].
 - A képhalmozást egy általam kiválasztott, 2116 forrásból álló, három részmintára osztott rádiószelektált mintára alkalmaztam (*halmozott minta*). A minta forrásai látszanak a FIRST rádió felmérésben, de az SDSS S82 összeadott optikai képeken nem észlelhetők.
 - Kifejlesztettem egy új, a halmozott képek, illetve halvány források vizsgálatára alkalmas fotometriai módszert, különös figyelmet fordítva az égi háttér megfelelő levonására.
 - Jackknife-elemzéssel, hisztogram-elemzéssel, és a maszkolási paraméterek variálásának a vizsgálatával bizonyítottam, hogy a képhalmozási technikám robusztus, nem érzékeny az esetleges kiugró adatokra, és megbízhatóan becsli a képzelethez viszonyítottan egyenként halványabb minta átlagos fényességét.
4. Az S82 összeadott felmérés optikai képeinek halmozásával láthatóvá tettem a rádiófényes források összegzett, átlagos optikai sugárzását (*halmozott forrás*). Megvizsgáltam a részmintánként kapott egy-egy halmozott forrás optikai tulajdonságait, és arra az eredményre jutottam, hogy a halmozott mintát nagyrészt porvörösített 1-es típusú kvazárok alkotják [1].
 - A halmozott források nagyjából 1 magnitúdóval halványabbak az S82 összeadott felmérés detektálási küszöbénél. A források r magnitúdója 24,7 körüli érték. A halmozott források erősen vörösek, az optikai színképindexük $-2.9 \leq \alpha_v \leq -2.2$ (részmintától függően).
 - A normál SDSS-felmérésben nem észlelt, de a mélyebb S82-felmérésben detektált rádiófényes forrásokból kiválasztottam egy, a halmozott mintára hasonlító *ellenőrző* mintát,

és összeállítottam egy katalógust a minta forrásainak optikai, infravörös és rádió tartománybeli tulajdonságairól. A minta forrásai halványabbak az SDSS detektálási küszöbénél, a mélyebb S82-felmérésben viszont észlelték őket.

- Optikai és közeli infravörös szín-szín diagramokon összehasonlítottam a halmozott és az ellenőrző minta forrásait különféle, spektroszkópiailag osztályozott kvazármintákkal. Mindkét rádiószelektált minta jórészt olyan helyet foglal el a színtérben, ahol az összehasonlító kvazárminták vörös kvazárjai is megtalálhatók.

Következtetések

Az SDSS pozíciószög-adatait széles körben használják. A galaxisok közti orientációs effektusok korrelációs jele elég csekély, úgyhogy a pontatlan mérések, mint pl. az általam kimutatott szisztematikus hiba, nagyban megnehezítik a tanulmányozásukat. A jövőben kifinomultabb képfeldolgozó programokra van szükség, melyek megbízhatóan határozzák meg a források alakját, valamint jól tudják kezelni a földi légkör hatását (*seeing*) és a távcsövek leképezési hibáit.

A FIRST-felmérés rádió forrásainak képhalmozásos vizsgálatával, más szerzők tanulmányaival összhangban, egy vörös kvazárpopuláció nyomaira bukkantam. Az optikai felmérések nagy számban detektálják a kvazárokat, de a vörös kvazárok nagy része, a por jelentős extinkciós hatása miatt, láthatatlan marad az optikai távcsövek számára. A vörös kvazárok tömeges észlelése ezért még várat magára. Elképzelhető, hogy a néhány év múlva induló fejlettebb csillagászati eszközök a vártnál sokkal több ilyen típusú vörös kvazárt fognak találni.

A tézisek alapjául szolgáló publikációk

- [1] **Varga, J.,** Csabai, I., & Dobos, L. (2012): Revealing a strongly reddened, faint active galactic nucleus population by stacking deep co-added images. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **426**, 833–850
- [2] **Varga, J.,** Csabai, I., & Dobos, L. (2013): Refined position angle measurements for galaxies of the SDSS Stripe 82 co-added dataset. *Astronomische Nachrichten*, **334**, No. 9, 1016–1019

Konferenciaszereplések

- [3] **Varga, J.,** Csabai, I., & Dobos, L. (2012): Revealing a strongly reddened, faint AGN population with double image stacking. *International Astronomical Union XXVIII General Assembly*, (Kína, Peking), 2012. 08. (poszter)
- [4] **Varga, J.,** & Csabai, I.,(2012): Morphological analysis of SDSS disc galaxies. *6th Workshop of Young Researchers in Astronomy and Astrophysics*, (Magyarország, Budapest), 2012. 09. (előadás)
- [5] **Varga, J.,** Csabai, I., & Dobos, L. (2013): Correct measurements of galaxy orientation angles and its implications to angular correlation studies. *Ripples in the Cosmos* (Egyesült Királyság, Durham), 2013. 07. (poszter)
- [6] **Varga, J.,** Csabai, I. (2014): Intrinsic alignment between galaxies and the large scale structure. *Alpine Cosmology Workshop 2014* (Ausztria, Gschnitztal), 2014. 07. (elfogadott absztrakt, előadás)