Korai és késői típusú galaxispopulációk vizsgálata a Sloan Digital Sky Survey alapján

Doktori tézisek

Győry Zsuzsanna

Budapest

2008

Győry Zsuzsanna
Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék
1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
gyory@complex.elte.hu
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Fizika Doktori Iskola
Részecskefizika és Csillagászat program
Doktori iskola vezetője: dr. Horváth Zalán
Programvezető: dr. Csikor Ferenc
Témavezető: dr. Csabai István
2008. szeptember 1.

1. Bevezetés

Az extragalaxtikus égfeltérképezés az egyik legfontosabb informáicóforrás az Univerzumunk megismeréséhez. A Sloan Digital Sky Survey (SDSS) egy egyedülálló kezdeményezés az ég egy negyedének felkutatására és galaxisok, kvazárok és csillagok spektrális és fotometriás adatainak rögzítésére és feldolgozására, melyet automatikus algoritmusok láncolata végez.

Egyik legfontosabb program az öt szélessávú szűrővel kimért magnitudó adatokat rendeli minden megfigyelt égitesthez. E feltérképezés mélysége minden korábbin túlmenő statisztikus vizsgálatokat tesz lehetővé, ám azon kihívás elé is állít minket, hogy ezen öt számból minél több információt kinyerhessünk. A költséges spektroszkópiai mérések szolgáltatják a kalibrációhoz szükséges információt. A vöröseltolódás és a nebuláris emisszió közvetlenül leolvasható a spektrumból, de további mennyiségek is kinyerhetők, mint az életkor és a metallicitás.

De a spektrumon vagy a színkoordinátákon túl más adatok is rendelkezésünkre állnak. Az SDSS képfeldolgozó rendszer morfologiai információt gyűjt, melyeből különböző illesztésekkel nyerhetünk számadatokat. A legegyszerűbb morfológiai osztályozás korai típusú elliptikus és késő típusú spirálgalaxisokat különböztet meg. Hogy melyik osztályba tartozik egy galaxis, számos más fizika tulajdonságban is megnyilvánul. A korai típusú galaxisok vörösebbek és jellegzetes nem skálainvariáns spektrummal rendelkeznek. A kesői típusba tartozóak inkább kékek, erős emissziós vonalaik csillágképződésről árulkodnak. A szín és alak részletesebb vizsgálatából a galaxisok fejődeséről kapunk képet.

Dolgozatomban a galaxispopulációk ezen két típusát térképezem fel, vizsgálom színtérbeli eloszlásukat, a nebuláris emissziós spektrumukat, a galaxisfejlődési vonatkozásaikat, valamint különbözőségük gyakorlati következményeit néhány speciális fotometriai alkalmazásban.

Miután bemutatom az SDSS égfeltérképezési projektet, ennek fotometrikus adatait használom a típusok eloszlásfüggvényeiben tapasztalható színtérbeli erős különválásának jellemzésére.

E jelenség számos újabb kutatást motivált a galaxisok eloszlásának és fejlődésének témakörében. Megfigyelésekkel kimutatták a galaxisok eloszlásának látványos fejlődését. A vörös galaxisok legalább fele csak $z = 1$ óta nyerte el jelen formáját. A megfigyelések megerősítették a kései típusú galaxisok koraivá való átalakulását. Az adatok kizárják a csupán passzív fejlődés által okozott átmenetet, szükségessé teszik a kék galaxisok összeolvadását és a csillagképződés azt követő leállását. Ezen feltételezés egyik fontos jóslata a csillagpopuláció és az összeolvadás által kiváltott árapály-struktúrák korrelációja korai típusú galaxisokban: a strukturáltabb galaxisokban átlagban fiatalabbak a csillagok. E jóslat néhány vonatkozását tárgyalom.

A fotometriai alkalmazások dolgozatom fontos motivációját képzik, különös tekintettel a fotometriai vöröseltolódás becslés módszerének javítására. A két galaxistípus különbözősége számos módszertani problémát vet fel, ezek többnyire a kék populációt érintik. Ellentétben a korai típussal, a kék galaxisok spektruma közel skála-invariáns. Ez degenerációhoz vezet és a vöröseltolódás becslését megnehezíti. A vörös és kék luminozitásfüggvény is különbözik, a kék galaxisok statisztikusan halványabb magnitudójúak. Ez azt eredményezi, hogy egy naívan kiválasztott mintában a kék galaxisok magnitudója halványabb, azaz na-

gyobbak a fotometriai hibák, vagy pedig a kékek alulreprezentáltak. Ez mind a fotometriai vöröseltolódás becslés kalibrációja, mind pedig az alkalmazása esetében hibákhoz vezet. A spektrumillesztéses módszer speciális problémája a fizikailag kalibrált emissziós vonalak hiánya. Ez szisztematikus hibákhoz vezethet a jelentős csillagképződést tartalmazó kék galaxisok illesztésénél. Dolgozatomban ezen témakat dolgozom fel azzal a céllal, hogy a fotometriai vöröseltolódás becslés mindkét galaxistípusra egyformán jól működjön.

2. Tézisek

A doktori értekezésben leírt legfontosabb eredményeket a következő pontokban foglalom össze:

1. SDSS galaxisok eloszlását vizsgáltam a 4 dimenziós színtérben. Bayesi valószínűségeken alapuló osztályozást végeztem az adatokon. Azt találtam, hogy az együttes eloszlás elegendő pontossággal és stabilan leírható olyan osztályokkal, melyek természetes módon leképezhetők a vörös és kék galaxisok két osztályára, ezzel alátámasztva a színeloszlás bimodális leírásának jogosságát. A két fő halmazt elválasztó felület meghatározásával pontosítottam a galaxistípusok színtérbeli elkülönülésének leírását. Egyúttal igazoltam a típusokat elválasztó egyszerű lineáris $u - r = 2.22$ vágás jogosságát.

2. Létrehoztam egy közeli galaxisokból álló térfogatlimitált, kontrolláltan jó teljességű mintát. A Sérsic fényességprofil illesztést alkalmazva kijelöltem a korai típusba sorolható galaxisokat, melyekből

aztán vizuális osztályozás és szűrés révén ki lettek választva az E/S0 galaxisok. Megterveztem és megvalósítottam az aszimmetria mérésére egy eljárást, mely robusztus és reprodukálható indikátora az árapály-strukturáknak a korai típusú galaxisokban.

3. A struktúra és a csillagpopuláció korrelációját vizsgáltam korai típusú galaxisokban. Reprodukáltam Schweizer és Seitzer 1992-es mérföldkőnek számító korrelációs eredményét a szín és aszimmetria adatokon, mely szerint az aszimmetrikusabb galaxisok kékebbek. Elsőként mutattam ki, hogy a korreláció a csillagpopuláció életkorára vezethető vissza. A metallicitás nem korrelál kimutathatóan az aszimmetriával, sőt növeli a színtérbeli szórast.

4. Az összeolvadás-modell által motivált csillagpopulációs modellekkel vetettem össze az adatokat. A modellek reprodukálják a vörös galaxisok színeloszlását és annak fejlődését. Az összahasonlítás megmutatta, hogy eredményeim összhangban vannak a kék galaxisok összeolvadásának feltételezésével: mind a csillagpopulációk átlagéletkora, mind az aszimmetria korrelál az összeütközéstől számított idővel, de a korrelációkban nagy a szórás, ezért az egyes objektumokról nem állapítható meg, mikor volt a legutóbbi ütközésük. Ennek ellenére statisztikusan megállapítottam, hogy jelentős számú E/S0 galaxis esetében a közelmúltban összeolvadás történt.

5. Galaxisok emissziós vonalainak a dimenzionalitását vizsgáltam főkömponens analízissel. Megállapítottam, hogy a vonalak jól közelíthetőek 3 ortogonális bázisvektor lineár-kombinációjaként. Ezen altérben a galaxisok egy közel kétdimenziós sokaságon helyezkednek el. A vörös és kék típus tisztán elválik ezen bázison, a csil-

lagpopuláció alapján végzett osztályozás egyező eredményt ad a nebuláris emisszióra alapozott klasszifikációval az esetek ∼90%-ában. Azonosítottam a fő fizikai irányokat, melyek kifeszítik a galaxisok által kitöltött kétdimenziós sokaságot: az emissziós vonalak relatív erősségét (mely a csillagkeletkezéssel kapcsolatos) valamint a metallicitást.

6. Az emissziós vonalak főkomponenstérbeli reprezentációját és a folytonos spektrumot ugyanezen elven alapuló paraméterezését összehasonlítva a korrelációt vizsgáltam. Egy empirikus összefüggésre jutottam, mely adott kontinuum-paramétérek esetén megadja a legvalószínűbb emissziós mintázatot és annak statisztikus szórását. Ezen előírást meg is valósítottam: emissziós vonalakat tettem olyan modell-spektrumokra, melyek nem tartalmazzák a nebuláris emissziót. Ugyanezen eljárással módosítottam Coleman, Wu & Weedman(1980) empirikus spektrumait és alkalmazam ezeket a késői típusú galaxisok vöröseltolódás becslésének javítására.

7. Vizsgáltam a Bruzual-Charlot modellek alkalmazhatóságát a fotometriai vöröseltolódás becslésre. Megállapítottam, hogy a spektroszkópiai megfigyeléseken alapuló kiválasztás súlyos szisztematikus hibákhoz vezet. Egy optimalizáló eljárással kiválasztottam egy modell halmazt, mely jobb becslést ad a hibrid spektrum illesztéses módszereknél.

8. A COMBO-17 vöröseltolódás adataival összehasonlítva elemeztem az SDSS fotometriai vöröseltolódásainak pontosságát és hiányosságait. A fő spektroszkópiai minta, a fényes vörös galaxisok, valamint a SDSS Southern Survey által speciálisan a távoli, kék objektumok fotometriai vöröseltolódásának pontosításra felvett adatokból létrehoztam egy

típusban és vöröseltolódásban $z = 0.5$-ig közelítőleg egyenletesen mintavételezett tanítóhalmazt. Ennek segítségével javítottam a fotometriai vöröseltolódás becslés pontosságát főképp a halványabb, kék galaxisokra, ezáltal enyhítve a típusfüggést. Ezen módosításokat ötvöztem a 5. tézispontba foglalt emissziós vonal korrekcióval, ezáltal létrehozva egy új sablon spektrumhalmazt, melyet a DR4 óta alkalmazunk az SDSS fotometriai vöröseltolódás becslésében.

Publikációk

Strateva, I., Ivezic, Z., Knapp, G. R., Narayanan, V. K., Strauss, M. A., Gunn, J. E., Lupton, R. H., Schlegel, D., Bahcall, N. A., Brinkmann, J., Brunner, R. J., Budavári, T., Csabai, I., Castander, F. J., Doi, M., Fukugita, M., Győry, Z., Hamabe, M., Hennessy, G., Ichikawa, T., Kunszt, P. Z., Lamb, D. Q., McKay, T. A., Okamura, S., Racusin, J., Sekiguchi, M., Schneider, D. P., Shimasaku, K., York, D., „Color Separation of Galaxy Types in the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data", 2001 Astronomical Journal, 122, 1861

Csabai, I., Budavári, T., Connolly, A. J., Szalay, A. S., Győry, Z., Ben355tez, N., Annis, J., Brinkmann, J., Eisenstein, D., Fukugita, M., Gunn, J., Kent, S., Lupton, R., Nichol, R. C., Stoughton, C., „The Application of Photometric Redshifts to the SDSS Early Data Release", 2003 Astronomical Journal, 125, 580

Zsuzsanna Győry, Alexander S. Szalay, Tamás Budavári, István Csabai, Stéphane Charlot, „Correlations between Nebular Emission in SDSS Galaxies and the Continuum Spectral Shape", AJ submitted

Zsuzsanna Győry, Eric Bell, „Testing a prediction of the merger origin of early-type galaxies: a correlation between stellar populations and asymmetry", ApJ submitted