

Bevezetés az asztrofizikába

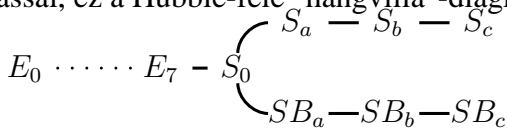
Balog Dániel

2011. 10. 17

Morfológia:

Hubble a huszas évek végén, harmincas évek elején nagyon sok galaxis lefényképezett, és észrevette, hogy morfológiailag két különböző galaxis van. Az előző órán részletesen tárgyalt spirálgalaxis, és az elliptikus galaxis.

Egy spirálgalaxisban a mag általában nagyon gömbszerű, az elliptikus galaxis lehet elég elnyúlt is. Ezek után Hubble teljesen szubjektív módon előállt egy morfológiai osztályozási eljárással, ez a Hubble-féle "hangvilla"-diagramm.



Az E_{0-7} beosztást az elnyúlás határozza meg. Az indexben szereplő számot $10 \cdot (a - b)/a$ módon számoljuk ki, ahol a a nagytengety, b a kistengely.

Belegondolva, az osztályozásnak nincs fizikai értelme, hiszen egy éle mentén látott galaxis teljesen más értéket kap, mintha ugyan azt a galaxis szemből néznénk.

A spirálgalaxisok vannak a két ágon, S_a tól S_c -ig. Az S a spirálgalaxisra utal, az a, b, c az alosztály.

	a	b	c
b/d	nagy	...	Pici
α	kicsi	...	nagy
C_r	0.1	...	0.7

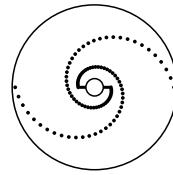
Magyarázat:

- A balge disk ratio (b/d) a mag és a korong fényességének, (*méretének*) aránya. Ha nagy mag, és kicsi korong ez egy nagy szám.
- A spirálstruktúra alig látszik, ha C_r kicsi, és nagyon kontrasztos ha C_r nagy.
- α a karok nyílásszögét jelöli. Ha ez kicsi, akkor a karok föl vannak tekerve.

Ezt ma egy egyparaméteres (*korong mérete*) összefüggésnek fogjuk fel. Ezt a rendszert Hubble kiegészítette a lentikuláris galaxisokkal, S_0 . Ezek lencseszerű galaxisok, a korong olyan kicsi, hogy látható, hogy ott van, de sem a karokat, sem a kontrasztot nem lehet kivenni.

Miért van a hangvillának két ága?

Mert egy majdnem azonos spirálgalaxis sorozat van az alsó ágon. A nagy B az angol bar (*rúd*) szóra utal, ezt küllőre szokták fordítani. Arra lett figyelmes Hubble, hogy mindegyik spirálgalaxis két változatban található.



Nem a központi magból indulnak a spirálkarok, hanem azon átvezet egy egyenes küllő, és annak a végéből kanyarodnak ki. Ezek a küllős spirálgalaxisok. Meglepő módon ez egy jól elválasztható külön osztály és ezért nevezzük ezt az egészet hangvillának.

A lokális, közelünben lévő galaxisoknak, (*ezeket tudta Hubble lefényképezni*) kb. 95%-a rárakható erre a hangvilla diagrammra. A maradék 5%-ot irreguláris, vagy pekuliáris galaxisoknak nevezzük. Ezek általában ütköző, vagy kialakulófélben lévő galaxisok, amelyeknek egy kicsit torz a formájuk és így nem nevezhetők elliptikusnak/spirálisnak.

Ma már ki tudtuk mérni, hogy ha időben nagyon visszamegyünk, tehát nagyon távoli galaxisokat figyelünk meg, (*HST-vel*) akkor 50-50% az eloszlás. Itt még kialakulóban vannak a galaxisok, és azt gondoljuk, hogy ma már jóval véglegesebb a rendszer. A kialakulások során mindenféle alakú felhőket látunk, ami a közvetlen közelünkben lévő, gyakorlatilag tőlünk nem nagyon távolodó, gyakorlatilag nulla vöröseltolódású galaxisokra nem jellemző.

Hierarchikus galaxisfejlődési modell:

Azt gondoljuk, hogy úgy alakul ki egy galaxis, hogy van egy nagy gázfelhő ami elkezd összeesni. (*külső hatás, vagy saját gravitációja miatt*). A közepén először keletkezik egy nagy fekete lyuk.

Később fogjunk tanulni, hogy száz naptömegnél nagyobb tömegű csillag nem létezik. Ha száz naptömegnél nagyobb anyagot egyszerre összepréselünk, akkor az azonnal fekete lyukká esik össze. Nem lesz fúzió, és normál csillagélet.

Amikor egy galaxis tömegéről beszélünk, akkor ez a tömeg $10^{11} - 10^{12}$ -en naptömeg. A 10^2 ennek elhanyagolhatóan

kicsi része, biztos van benne annyi gáz, aminek nincs elég nagy perdülete ahhoz hogy ne álljanak össze egy fekete lyukká.

Azt gondoljuk, hogy a fekete lyuk kialakulása után magába szívja a gáz egy jelentős részét, azaz akkretál. Akkréció közben, az mc^2 tömeghez rendelhető összenergiának akár a 10%-át is elvesztheti a gáz, miközben hullik bele a fekete lyukba. Ezt iszonyatosan fényes sugárzás formájában kibocsátja, és ezt az állapotot nevezzük kvazárállapotnak.

Miért kvazárnak hívják?

Az angol rövidítés a QSO, ezt kvazárnak ejtik ki. A QSO a csillagszerű objektum (*quasy stellar object*) rövidítése. A neve abból fakad, hogy pontszerűek és fényesek, mint a csillagok. Martin Schmitt 1963-ban fedezte föl ezeket az objektumokat.

Azt gondoljuk, hogy az Univerzum fejlődésének során, így kezdtek a galaxisok kialakulni, ilyen összetöporodó gázfelhőből, először középen egy fekete lyuk lett, ami szívta magába az anyagot, és a távoli kvazárok fénye most ér ide hozzánk. Mára ez a kvazárállapot nagyjából megszűnt, már fejlettebb galaxisaink vannak, és ezért nincsenek a közelünkben fényes kvazárok.

A következő lépés az hogy elkezd a fényes mag körül egy korong kialakulni.

Miért korong?

Ugyan azért, ami miatt a Naprendszerben a bolygók kb. az ekliptika síkjában keringenek, mert annak az anyagnak, amiből a naprendszer, vagy egy ilyen nagy galaxis kialakul van valamekkora kezdeti energiája, és perdülete. Ha én kisugározni (*disszipálni*) akarok energiát akkor az a jó, ha laposabbá teszem az objektumot, azzal kisebb lesz az energiaállapota. Viszont befelé nem tudom nyomni az anyagot, mert akkor nagyon föl kéne hogy pörögjön, hiszen meg kell hogy maradjon az összperdület.

A Naprendszer esetén ezt úgy lehet elmondani, hogy a Naprendszerben a tömegnek több mint a 99%-a a Napban van a bolygók összesen (*főleg a nagy bolygók számítanak itt mint a jupiter és a szaturnusz*) is kevesebb mint 1%-át adják a Naprendszer teljes tömegének. Viszont a perdületnek több mint a 99%-át a bolygók keringése okozza, nem a Nap forgása. Ami ugyan valamennyire forog, de ha nagyon megpörgetnénk, akkor szétesne a centrifugális erő miatt.

Ebben az állapotban a galaxis magja még aktív, tehát továbbra is úgy működik, mint egy kvazár. Ezt AGN-nek szokták nevezni (*Active Galactic Nucleus*). Az objektumot

ami egy ilyen koronggal már rendelkezik, de még aktív a magja Seyfert-galaxisnak hívjuk.

A későbbi állapot az, hogy kialszik az aktív mag, és normál spirálgalaxis lesz belőle.

10^7 -en- 10^8 -on évig képes magába szívni anyagot egy fekete lyuk. Ha csak néhány csillag van körülötte, amik normál körpályán keringenek és már nem hullanak bele, akkor nincsen új gáz, ami fűtené ezt a kvazárt, így kialszik.

A hatalmas anyagszívás után marad egy jó nagy szupernehéz fekete lyuk. Ma már mérési evidencia bizonyítja, hogy minden galaxisban (*legalábbis a miénkben és a környezőkb*) vannak ilyen központi fekete lyukak. A spirálgalaxisok létrejötte után lesznek elliptikus galaxisok, mert ezek a spirálgalaxisok összeütköznek, és ha a két mag eltávolodik egymástól, akkor leszakadnak a korongok és spirálkarok, és marad a két mag, vagy vonzzák egymás és összeállnak egy ilyen nagy csomóvá és előbb-utóbb kialakul egy elliptikus galaxis.

Azt gondoljuk, mikor ezek az ütközések megtörténnek, akkor mivel a két spirálgalaxis korongjában van bőven gáz, csak a magban nincs, az összeütközéskor ebből a gázból jut a fekete lyukak köré is, sőt a két fekete lyuk is összeolvad egy idő után. Így a magban az új gázt tudja akkretálni, így a mag ismét fölgyullad, mint kvazár, aktív egy jelentős ideig.

A modellszámítások azt mutatják, hogy egy ilyen összeütközés után néhányszor 10^7 -en évig aktív tud lenni egy ilyen galaxismag. Extrém esetben akár ezer kvazárperiódus is lejátszódhatott egy mai galaxismaggal.

Az általános relativitás-elmélet szerint ha nagyon nagy gyorsulása van egy tömegnek, akkor az hullámokat tud kelteni a tér-idő szerkezetében, ezt nevezzük gravitációs hullámnak. Amikor két fekete lyuk összeolvad, egymás körül keringenek energiát veszítve és egymásba zuhanva összeolvadnak. Amennyiben valóban vannak ilyen összeolvadó galaxismagok, akkor ezek az Univerzum legerősebb gravitációs-hullám forrásai.

Ezért a ma készülő gravitációs hullám detektorok, az összeolvadó fekete lyukak jelét próbálják keresni, mert elsősorban ezektől várunk olyan amplitúdójú gravitációs hullámot, ami mérhető. Természetesen a földi detektorokkal nem feltétlenül ezt tudjuk detektálni, hiszen ezeknek nagyon nagy a hullámhossza, ezért az évtized végére az űrbe tervezett sokkal nagyobb méretű műszerekkel pl. LISA (*laser interferometer space antenna*) lehet majd a szupernehéz fekete lyukak összeolvadásának nyomait detektálni.

Ennek a karhossza 5000000 km lenne. Természetesen ezt nem úgy kell elképzelni, hogy egy ilyen hosszú merev test

lenne, hanem három úrszonda, egy háromszög alakban elhelyezve. Azért nem kell összeköttetés, mert a vákum "gyárilag" van.

A földfelszínen van egy alagút méretű betonberendezés, aminek egy néhány 10 cm átmérőjű cső van a belsejében és abban nagyon erős vákumot hoznak létre. Ebben erős lézerfény világít a két vége közötti két tükör között.

Még a legnagyobb csillagok felrobbanása után is csak egy-két naptömegű fekete lyuk marad vissza. Azt gondoljuk, hogy ilyen a galaxisunkban sok van. Ha ezek összeütköznek egymással, ezek is keltenek gravitációs hullámot.

A föld felszínén található LIGO-val, aminek "mindössze" 4 km a karhossza, kisebb tömegű fekete lyukak összeütközésének a nyomait keressük.

A hierarchikus galaxisfejlődési modellben a végállapot az, hogy egy elliptikus galaxis alakul ki ütközések, és összeolvadások következtében. Ez azért tűnik igaznak, mert az elmélet szerint ott lesznek nagyobb számban elliptikus galaxisok, ahol az ütközések várható száma nagyobb. Ezt a mérések alátámasztják.

Ismert, hogy vannak galaxishalmazok az égen, itt a galaxisok sűrűsége relatívan nagy, sokkal nagyobb mint a mezőn¹. Természetesen sokkal többet ütköznek a galaxisok, ha egy 1.5 Mpc-es gömbön belül van akár 1000 galaxis is.

A galaxishalmazokban nagyobb arányban találunk elliptikus galaxisokat, mint a mezőn. Ezt a relációt sűrűségmorfológiai relációnak nevezzük.

Kiegészítés a Hubble-féle osztályozáshoz:

A mai képünk az elmondottnál sokkal bonyolultabb, ez a legelső osztályozási eljárás volt, azóta ezt jelentősen kiegészítették.

Ma már van S_d alosztály. Ez egy még extrémebb alosztály, még kisebb a mag, még nagyobb a korong, még kontrasztosabbak a spirálkarok és még nagyobb a nyílásszög.

Vannak O típusú galaxisok, ahol nagyon föl vannak csavarodva a karok. Van olyan aki azt mondja, hogy igazából egy gyűrűt (O ringet) lát a mag körül, nem S alakú spirálkarokat.

Sőt kiegészítették ezt a hangvillát háromdimenzióssá is.

Ma már ott tartunk, hogy automatizáltan, a milliósázmra megfigyelt galaxisokat szoftverekkel kiértékelve, néhány számszerű paraméterrel tudjuk jellemezni a galaxisokat.

Nem feltétlenül kell ráfogni hogy pl. SB_b , hanem elég megmondani, hogy mekkora a mag tányér arány, és mekkora a nyílásszöge a spirálkaroknak, ez néhány adat ami jól jel-

lemző az objektumra. Az osztályoknak és elnevezéseknek egyre kevesebb értelme van.

Spirálszerkezet:

A spirálkarok nem együtt keringő csillagok, nem is lehetnek, hiszen a galaxisoknak konstans a rotációs görbéje. Ez azt jelenti, hogy bármelyik csillag magtól mért távolságtól függetlenül, azonos kerületi sebességgel rendelkezik. Tehát egy belső csillagnak sokkal kisebb a keringési ideje, mint egy külső csillagnak.

Emiatt a galaxisok karja fölcsavarodna. De ritka a nagyon fölcsavart spirálkar, ez gyaníthatóvá teszi, hogy nem együtt mozgó csillagokról van szó. Ha pontos dinamikai számításokat végzünk, az azt mutatja, hogy a spirálkarok sűrűség-hullámok a korongban. Ez a Lin-Shu hipotézis

Elég bonyolult a számítás, azt kell feltételeznünk, hogy a korong körbeáramló (*forgó*) gázt, és részecskéket (*csillagokat*) tartalmaz. Ennek a dinamikáját, a stabilitási kritériumait kell kiszámolni. Van ahol egy perturbáció stabilan megmarad mert nem stabil a tányér, abból lesz ez a spirálkar.

Ez a megmaradó sűrűség-hullám ami körbe-körbe terjed egy galaxis korongjában, konstans szögsebességgel. Az elhaladó sűrűség-hullám összehúzza a csillagokat, és összenyomja a gázt ami a korongban van, abból hirtelen fényes nagy kék csillagok keletkeznek. Emiatt fényes a spirálkar, hiszen egy kék csillag sokkal fényesebb, mint egy vörös. A kékek azonban gyorsan ki is égnek, mire elhalad a galaxis karja, a fényes csillagok már ki is hunytak. És csak picit vörös csillagok maradnak vissza. Ezt a színkontrasztot meg is lehet látni, ha elég közelről nézünk egy galaxiskart, az egyik széle kékebb, a másik pirosabb. Ez a hullám söpör végig teljesen függetlenül a csillagok saját keringési sebességétől.

Galaxishalmazok, és az univerzum nagy skálás szerkezete:

Az első előadáson volt szó Abell galaxiskatalógusáról. Azóta részletesen ismertette lett, hogy mit kell tudni a galaxisokról.

Elhangzott, hogy a POSS egy szisztematikus feltérképezése volt az égnek (*pontosabban az északi féltekének*) 1955-ben. Három évvel később Abell fogta ezeket a lemezeket, úgy definiálta a galaxishalmazokat, hogy egy 1.5 Mpc-es területen belül legalább harminc galaxis. A galaxisunk síkjában kb. pm 30 fok az elkerülési zóna, ezeket Abell

¹a galaxishalmazok között

eleve nem is vette bele a megfigyelésébe. A kb. 2700 db talált csomósodásnak több mint fele 500 galaxisnál is többet tartalmazott.

Hogy tudta Abell kijelölni a másfél Mpc-s kör méretét?

Az, hogy a másfél megaparsec átmérő a fotólemezeken mekkora szög alatt látszik függ a távolságtól. Hogy mérte meg a távolságukat?

A parallaxis a galaxisunkon belüli csillagok közül is csak a legközelebbiekre működik (*max. 50 pc*), a cefeidákkal való mérést sem lehet nagyon távoli galaxisokra alkalmazni. Az egyetlen esélyes versenyző a Hubble-törvénnyel való vöröseltolódás mérés.

Ma már ismert a Hubble állandó, $71 \pm 2 \text{ km/s/mpc}$.

Miért ilyen furcsa a mértékegysége a Hubble állandónak?

$$v = h \cdot d$$

Ha $[v] = m/s$ és $[d] = m$, akkor $[h] = 1/s$. Metrikusan a km/s/mpc is ugyan ez, csak bővítve van távolságmértékegységgel. Ha $1/s$ -ban adnánk meg az állandót, lévén $1 \text{ Mpc} \simeq 3.09 \cdot 10^{19} \text{ km}$, $H \simeq 0.79 \cdot 10^{-19} 1/s$ lenne.

Pl. a Virgo klaszter 30 Mpc-re van, akkor kb. 2100 km/s a távolodási sebessége. Ezek után mondhatnánk azt hogy Abell az a Hubble törvény segítségével mérte meg a galaxishalmazok távolságát. De nem!

A 80-as években is még 100%-os hibával volt ismert a konstans, ekkor le sem írták a távolságokat, hanem a távolodási sebességekkel dolgoztak. Az elmúlt tíz évben vált lehetővé, hogy néhány százalékos hibával adjuk meg ezt, ezért nevezik ezt az időszakot a precíziós kozmológia korszakának.

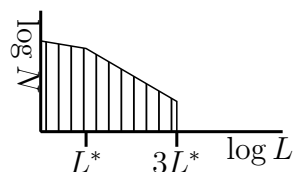
A 80-as években Cfa slice 1000 galaxis távolságát adták meg Hubble törvénnyel. Abell nem tudott 20 évvel korábban 2700 galaxisra (*Ha együtt van a halmaz, akkor elég a halmazból 1 galaxis távolságát megmérni*) vöröseltolódásos mérést csinálni.

Hogyan mérte meg?

Sehogy. Megsaccolta a fényességükből, a galaxisok luminozitásgörbéje alapján. Ez nem egy galaxisra értendő, hanem galaxisok sokaságára. Igazából a luminozitások eloszlása az égen.

Tegyük fel, hogy ismerjük a galaxisok távolságát, és a valódi fényességükből statisztikát csinálunk. Vesszük, az égen a közeli, látható galaxisokat, és egy hisztogrammban ábrázoljuk, hogy hány fényes, és hány halvány galaxis van. Az fog kiderülni, hogy halvány galaxisból sok van,

fényesebből meg kevesebb. Ez egy reális eredmény, hiszen a hierarchikus galaxisfejlődés szerint a nagy galaxisok kicsikből állnak össze.



Hogy ez az L^* törés hol van, az kimérhető, $2.5 \cdot 10^{10}$ -en napluminozitás. $3 L^*$ -nál fényesebb alig van. Természetesen van L^* csillag fényes is, ezek hol lehetnek, és milyen csillagok?

Azt mondtuk, hogy ott nőnek nagyra a galaxisok, ahol sűrűn tudnak ütközni. Egy galaxishalmaz középpontjában ott a legnagyobb a sűrűség, és az már elliptikus lesz. Ezek a cD típusú centrális galaxisok. A legközelebbi nagy galaxishalmaz a Virgo halmaz. Az M87-es egy hatalmas elliptikus galaxis a Virgo halmaz középpontjában.

Azt állapítjuk meg ennek alapján, hogy a három L^* fényességnél nagyobb luminozitással csak nagyon kevés galaxis rendelkezik. Abell merész állítása az volt, hogy a legfényesebb galaxis egy-egy galaxishalmazban ugyanolyan fényes. Ez nem is olyan pontos, azzal módosította, hogy a harmadik legfényesebb galaxist nézzük, (*ott olyan ritkán vannak már galaxisok a luminozitásgörbén*), azok kb. egyforma fényességűek lesznek, így standard gyertyaként használhatóak. Így a távolságmodulus egyenlet használható távolság megadására. Tehát ha a harmadik legfényesebb galaxisnak kb. $3 L^*$ a luminozitása. A POSS-ről leolvasta a látható fényességeket, ebből a távolság kiszámítható. Ebből pedig már kiszámítható, hogy mekkora kör a másfél Mpc. Tehát fotometriai úton becsülte meg az adott halmaz távolságát.

Ha megnézzük a galaxishalmazok méretét, azt hogy nagyságrendileg 1000 galaxis van bennük, és azt hogy egy galaxis tömege nagyságrendileg $10^{11} - 10^{12}$ -en naptömeg, akkor egy galaxisklaszter tömege (*cl-el jelöljük a halmazt*) $M_{cl} \simeq 10^{14.5} M_{\odot}$. Ismert a kiterjedése, ami 1.5 Mpc. Azt is tudjuk, hogy ez egy izotermális halmaz, össze-vissza szaladgálnak benne a galaxisok, kiszámolható a potenciálgödör mérete.

Ebből az is kiszámolható, hogy ha a potenciálgödörben gáz is van, mekkora kell hogy legyen annak a hőmozgása, hogy ne essen be a potenciálgödör aljára, tehát mekkora a szükséges hőmérséklete. Ebből néhány millió $^{\circ}K$ hőmérséklet adódik. Ha megnézzük a hőmérsékleti sugárzás görbét, hogy hol van az ehhez tartozó feketetest sugárzás maximuma, az röntgen tartományba esik.

A röntgensugárzás azonban nem tud áthatolni a légkörön. Űrszondát kell csinálni, és fölmenni a légkör fölé ahhoz, hogy ebben a tartományban mérni tudjunk. Megcsinálták ezt a szondát, és lefényképezték a galaxishalmazokat. Nagyon jól lehet látni, hogy valóban sugároz egy galaxishalmaz a röntgen tartományban. Ha azt mondjuk, hogy a tömeg felét a gáz adja, akkor rájövünk, hogy a galaxistérkép nem a legjobb megoldás, hogy az égi anyageloszlást megadjuk. A jövő zenéje az, hogy a tömegeloszlást úgy mérjük, hogy fölküldünk egy olyan műholdat, ami röntgentérképet vesz fel.

Mivel a röntgensugárzás sokkal erősebb mint a várt, arra következtetnek, hogy a galaxishalmazok hűlnek. Ha van kb. 10^{14} -en naptömegű gáz, ami 1 millió $^{\circ}K$, és olyan intenzitással sugároz amilyen intenzitással sugároz, akkor úgy hűl, hogy 1-10 naptömegnyi gáz eltűnik a forró fázisból. Azaz nem azt mondjuk, hogy az egésznek csökken a hőmérséklete, hanem hogy ez olyan mintha a hőmérséklet nem változna, hanem néhány naptömeggel kevesebb lenne a gáz. Nem tűnik ez olyan nagy rátának, 10 naptömeg évente...

De az Univerzum 10^{11} -en éves így már 10^{12} naptömegről van szó, az univerzum élettartama alatt, ez már összemérhető az egész gáz tömegével. Következésképp, van egy mély potenciálgödör ami a külső anyagot szívja magába. Ugyan a forró gáz nyomása ellenáll, de kívülről jelentős az anyagbeáramlás egy galaxishalmazba, ezt hűtési áramlásnak nevezik (*A hűlés miatt jön létre ez a beáramlás*).

Ez azért fontos, mert úgy gondoljuk, hogy olyan mennyiségű gáz tud befelé áramlani a környezetéből, hogy a nagy sebesség miatt a befelé áramlás közben lökéshullám² alakulhat ki a potenciálgödör szélén. Ez egy nagyon turbulens és éles határ ami esetleg nem sokára megfigyelhető lesz.

²törése/ugrása van a nyomásnak