

Bevezetés az asztrofizikába

Balog Dániel

2011. 10. 24

Az Abell és Cviky féle katalógusok a hatvanas évek végére teljesen nyilvánvalóvá tették, hogy a galaxisok néhány Mpc-es távolságokon belül csoportosulnak, tehát térben nem homogén az eloszlásuk.

Ehhez képest öt nagyságrenddel kevesebb a galaxisok számsűrűsége a mezőn (*field*) a klaszterekhez képest.

A galaxisok számsűrűsége nagyságrendileg $10^{-2}/Mpc^3$ a mezőn. Ez annyit jelent, hogy átlagosan $100Mpc^3$ -ként találunk egy galaxist, míg a galaxishalmazokban egy ilyen kockában nagyságrendileg 10^3 -on galaxis is lehet. Ez az öt nagyságrend különbség a számsűrűségben¹.

Ez egy nagyon nagy kontraszt. Az ősrobbanás pillanatában (*utána nem sokkal, amit jelenleg már tudunk mérni*) az anyagban a sűrűségfluktuáció nagyon picike volt, nagyságrendileg 10^{-5} -en. Tehát amikor $t \simeq 0$ az univerzum életkora, akkor a $\Delta\rho/\rho \sim 10^{-5}$.

Ez annyit jelent, hogy ha felrajzoljuk a galaxis sűrűségeloszlását, akkor vannak kicsi csúcsok valahogy a térben, de az ingadozás a teljes sűrűséghez képest százszázalékos résznyi volt. Ma a $\Delta\rho/\rho \sim 10^5$

Tíz nagyságrenddel nőtt ez az érték, abban a 13.7 milliárd évben, ami eltelt az ősrobbanás óta. Ha van egy kicsit nagyobb sűrűsödés, annak a gravitációs hatása elkezd a környékről odavonzani az anyagot. Idővel nagyobbak lesznek a csúcsok, ma már ott tartunk, hogy hatalmas csúcsok vannak, és üregek (*voidok*) között. A gravitáció és az idő eredményezi ezt a fajta eltolódást.

A komoly fizikai kérdés az, hogy mekkora a skálája (*mérete*) ezeknek a sűrűségfluktuációknak.

Felesleges elnevezésekkel bajlódni, az az érdekes, hogy mekkora az a legnagyobb skála, aminél még van csomósodása az anyagnak. Hiszen ha abból indulunk ki, hogy 13 milliárd évvel ezelőtt kvázi homogén volt az anyag, és véges idő áll rendelkezésre ahhoz, hogy a kisebb fluktuációkból nagyobbak legyenek, akkor van egy felső határ, aminél nem tud kialakulni méretű nagyobb alakzat. Egész egyszerűen azért, mert nem volt idő rá, hogy ennyit

elmozduljon az anyagtömeg.

Ha nagyon távolról nézzük, homogénnek kell lenni az anyag eloszlásának, hiszen homogén eloszlásból indultunk, így a csúcsok csak lokális csúcsok lehetnek. A galaxishalmazok felismerése és, katalogizálása arra vezetett, hogy most látjuk hogy a csillagoknál nagyobb skálára is lehet menni, a galaxisok szintjén sem homogén az anyageloszlás.

Nagyon nagy térképet, ahol három dimenzióban pontosan jelölve van a galaxisok pozíciója, azt nehéz csinálni. (*Egy gömbi polárkoordináta-rendszerben dolgozunk, ahol a Föld az origó, és a harmadik (távolság) koordinátát, nehéz megmérni.*)

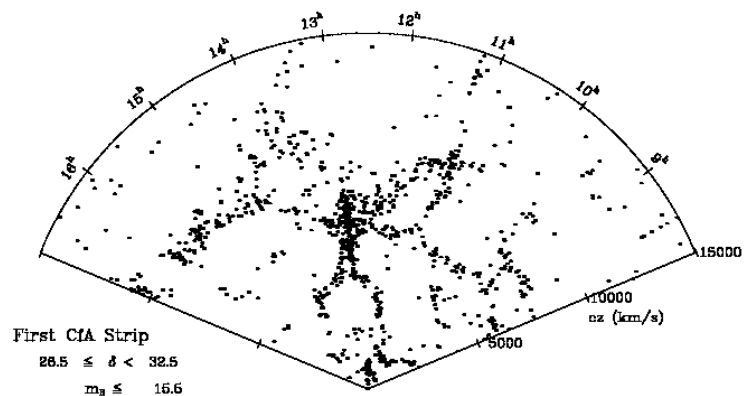
Milyen az anyag eloszlása nagyon nagy skálán?

1980, CfA slice:

Emlékeztető: A Harvard egyetem asztrofizikai tanszéke a CfA, ők egy 107° hosszú, 6° nyílásszögű szeletben mérték meg az összes ott található, ~ 1000 galaxis távolságát. Egy galaxis távolságához egy óra mérés szükséges.

Ha erre ránézünk, akkor ez három dimenziós abból a szempontból hogy a galaxisoknak mindhárom polárkoordinátája ismert. Abból a szempontból viszont nem, hogy szinte nincs kiterjedése. Ezt a 6° -os kiterjedést össze szokták ejteni, és az eredményt két dimenzióban ábrázolják.

A mérésen nagyon nagy távolságokban is (*kb 200 Mpc*)



hatalmas inhomogenitásokat lehet látni. Vannak 50 Mpc átmérőjű üregek, és 128 Mpc-re tőlünk egy sáv menti nagy

¹Hány galaxis van a térfogatban

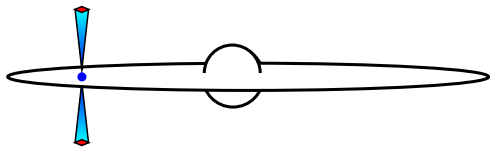
sűrűsödés, az úgynevezett nagy fal. Ezt a térképet statisztikusnak természetesen nagyon nehéz jellemezni, viszont ránézésre látszik, hogy 100 Mpc-s skálán is vannak struktúrák. Látható, hogy az ábrán csak sebességek vannak jelölve, hiszen a 80-as években a Hubble állandó értéke nem volt pontos.

Mivel itt még mindig vannak struktúrák, nagyobb léptéket kell mérni.

1990, BEKS "Pencil Beam" survey:

A BEKS a négy társszerző nevének a kezdőbetűiből van (*Broadhurst, T. J.; Ellis, R.; Koo, D.; Szalay, A.*). Az első kettő a déli a második kettő az északi obszervatóriumban dolgozott.

A nagy ötlet az volt, hogy ha nincs elég idő, hogy akár csak egy dinnyeszeletet, egy kvázi kétdimenziós térképet megcsináljanak, úgy hogy elég nagy távolságra lehessen ellátni, akkor szűkítsük a mérést egyetlen dimenzióra. Ebből fakad a pencil beam (*tűnyaláb*) elnevezés.



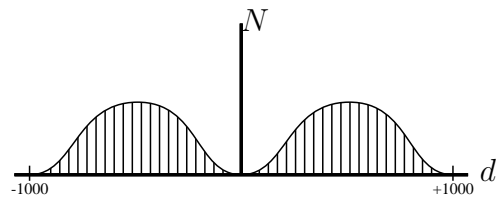
Azt mondjuk, hogy nézzünk a galaxis korongjára merőlegesen lefelé, és fölfelé, egyetlen egy négyzetfokos területen figyeljük meg a galaxisok távolságát. Így el tudtak menni kb. 1000 Mpc távolságig, de csak egy egydimenziós "számegegyest" tudtak mérni, és az eloszlást felrajzolni.

Hogyan tudom felrajzolni egy ilyen eloszlás eredményét?

Nem is kell kétdimenziós szeleteket rajzolni, csak azt, hogy a galaxisok számossága (N) hogyan függ a távolságtól (d). Tehát egy hisztogramot, azaz egy eloszlásfüggvényt kell felrajzolni.

Ha homogén lenne az anyag eloszlása, akkor hogy nézne ki ez a hisztogram?

Kijelöltünk egy négyzetfoknyi területet, amelyet vizsgálunk. Ahogy haladunk, a felület a távolság négyzetével arányosan növekedik. Magyarul, a geometriából következően egy parabolaszzerűen növekvő galaxisszámot várunk. Azonban egy ilyen felmérés tipikusan magnitúdó-limitált, azaz a távcsővel mondjuk egy órát mérünk egy-egy spektrumot, akkor mondjuk +22-es magnitúdóig tudunk felmérni egy galaxist. Ha kicsi a távolság, akkor a halvány galaxis is látszik, ellenben ha nagy (*pl. 1000 Mpc*), akkor már csak a nagyon fényes galaxisok lesznek láthatóak. Tehát jelentősen csökken a felmérhető galaxisok száma a távolodással. Emiatt a négyzetesen növekvő függvény levág.



Ilyen eloszlást várunk, ha homogén az anyageloszlás.

Mit kaptak ezzel szemben?

Egy hullámot, ahol hatalmas sűrűségmaximumok, és minimumok váltogatják egymást. Az első nagy maximum nem meglepő módon 128 Mpc-re volt tőlünk, ez a Great wall, ami a CfA slice-on is látszódott. Ami meglepő volt, (*és ez ma már nem elfogadott*) hogy nemcsak eltartott 1000 Mpc-ig ez a sűrűségingadozás, hanem az, hogy periodikus volt az ingadozás, 128 Mpc-es periódussal.

Nem hiszünk abban, hogy ez ennyire pontosan periodikus. Valószínűleg egy a mérés geometriájából következő szisztematikus hiba tette ennyire periodikussá a csúcsokat, de az, hogy nagyon nagy méretű struktúrák vannak a térben, az mindenképpen egy pozitív eredménye ennek a mérésnek.

Ha részletesen elmondanánk hogy hogyan kell megcsinálni egy ilyen térképet, illetve statisztikailag analizálni, akkor megérthető, hogy a nagyon furcsa geometriája a mérésnek, hogy begy ilyen szűk sávval "vagy eltalálnak egy galaxist, vagy nem" módon mér, az jelentős hibaforrás, és ebből származhat az a szisztematikus hiba, amiből a periodikus csúcsok fakadnak.

2000, SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*)

A műszert 1990-ben kezdték tervezni, 1995-ben építeni, a mérések 2000-2005-ig zajlottak, és az adatok analizálása 2010-ben fejeződött be.

Itt az ötlet az volt, hogy három dimenzióban nagy sugár mentén föl kéne mérni a galaxisok eloszlását, ezt csak egy erre a célra tervezett távcsővel lehet megcsinálni. Ez az öt év alatt 10^8 darab galaxistról csinált képet, és 10^6 darab galaxisnak mérte meg a spektrumát.

Hogyan lehetett egymillió galaxisnak megmérni a távolságát?

Úgy hogy ez a 2.5 méter átmérőjű, cassegrain típusú távcső kifejezetten erre a célra lett tervezve, hiszen, nagyon nagy (70cm) a fókuszsjíkja. Ebben egy 70 cm átmérőjű ún. mozaik-CCD kamera volt, ami 5x5 cm-es CCD csipekkel mozaikszzerűen fedi le a teljes fókuszsjíkot. A fényképeket 6x5 csip készítette, de mivel a csipeket nem lehet teljesen egymás mellé rakni, úgy oldották meg, hogy a csiporok

között kicsit kevesebb mint 5 cm távolság volt, így az ég egy részét két lépésben fényképezték le, és ezeket a csíkokat összeillesztették.

Azért volt öt vízszintes sor ezekből a csipekből, mert az öt sor előtt öt különböző színszűrő volt és ugyan azt a galaxist ez egyszerre öt különböző színszűrővel lefényképezte scanning üzemmódban.

A CCD kiolvasásáról azt kell tudni, hogy a lapka alatt van egy elektronika, ami egy potenciálgödör-rendszert jelent. Adott irányba léptetik az elektronokat, és a szélén "kieső" elektronokat megszámlálva lehet az adott pixelről infót kapni.

A scanning azt jelenti, hogy megállítják a távcsövet, és a potenciálgödörökben lévő elektronokat úgy mozgatják, hogy ugyan az álló távcső miatt látszólagosan elmozduló galaxis képe folyamatosan más pixelre esik, de az összegyűlt elektronok a galaxis képével szinkronban haladnak.

Ha automata képfeldolgozó szoftverekkel ezek után megkeresztjük a galaxisokat ezeken a képeken, akkor azok közül automatikusan ki lehet választani azokat, amik a legfényesebbek.

Mikor elkészültek a képek, és ki lett jelölve, hogy melyik galaxisnak legyen megmérve a spektruma. Ekkor betettek egy 70 cm átmérőjű alumínium lemezt, amibe egy robot előre lyukat fúrt oda ahol a 660 db mérendő galaxis látszódott. Hiszen az már ismert volt, hogy hol helyezkednek el a mérendő galaxisok. Angolul ez egy multi fiber fed spektrográfnak hívják, amiben egy üvegszál vezet a galaxis fényét a spektroszkópra. Egy ilyen spektroszkópban nem prizma van, hanem egy optikai rács, ami szétbontja a galaxisok fényét egy-egy vízszintes spektrumra. Ezt ismét CCD-vel rögzítették.

Az a mérés nagy előnye, hogy egy órás mérés kell ahhoz, hogy egy spektrum elkészüljön, de itt 660 db spektrumot mértek egyszerre. Ezáltal egy éjszaka alatt kb. 5000 galaxist lehet lemérni. Az egymillió lemért galaxishoz 200 éjszaka kell. Az öt év azért kellett, mert Új Mexikóban mértek, és ez eléggé az északi féltekén van, tehát az égboltnak csak az északi féltekéje látható. Mivel egy extragalaktikus mérésről van szó, figyelembe kell venni a tejútrendszer korongját. Azonban az ekliptika 60 fokos szögben dőlt a galaxis síkjához képest, így csak a tavaszi hónapokban látszódik jól a galaxis északi pólusa.

Ősszel a déli galaktikus pólus felé is végeztek megfigyeléseket, de ott nem tudta a teljes negyedlet lefedni, csak kisebb részeket. Azokat többször is megfigyelték, hogy időbeli változásokat lehessen nyomon követni. Itt igazából ez volt a cél, nem egy térkép megalkotása.

Ha adott méretű az alumínium lemez, és tudjuk hogy hol van a galaxis, akkor egy számítógép-vezérelt fúrógéppel ki lehet fúrni ezeknek a látszólagos pozícióját. Az már nagyon drága lett volna, hogy egy robot helyezze el az üvegszálakat is, így ezt kézzel oldották meg. Így azonban kérdéses, hogy melyik üvegszál melyik lyukhoz tartozik. Ezt egy teszteléssel oldották meg, külön-külön belevilágítottak a lemezbe épített üvegszálakba, és megnézték, hogy melyik szálnak hol a vége.

Az SDSS ezidáig, és előreláthatólag még hosszú ideig a legnagyobb ilyen adathalmaz. Néhány TB a mérete, és mára csak a megalkotása van kész, így ezt még jó pár évig lehet vizsgálni.

Az SDSS is 1000 Mpc felső határral dolgozik, mint a pencil beam, de ez már egy valóban három dimenziós térkép, a teljes gömb negyedéről. Ugyanúgy magnitúdó-limitált, mint bármely más hasonló mérés, azaz csak olyan galaxisok kerültek be a mérésbe, amelyek elég fényesek ahhoz, hogy egy óra alatt megmérhetőek. Tehát mint a pencil beam esetében, a halvány galaxisok csak akkor kerülnek rá, ha közeli. Azt szokták mondani, hogy az átlagos vöröseltolódás az SDSS-ben $z \sim 0.2 - 0.7$. Vöröseltolódás van ennél nagyobb is, de azok csak a fényes galaxisok esetén igazak, mert a vöröseltolódás a távolságból fakadó távolodás miatt van.

Azt tapasztaljuk, hogy ezen a tartományon belül bőven van struktúra. Mivel még az 1000 Mpc sem elegendő ahhoz, hogy pontos felső határt szabjunk, hogy mi a legnagyobb struktúra, ami létre tudott jönni az univerzumban, így azt csak sejtjük, hogy a struktúra vége nagyságrendileg 300 Mpc-nél van. Ha nagyon nézzük, akkor úgy tűnik, hogy ezen a nagyságrenden van még valamiféle csomósodás. Efölött már homogénnek tekinthető az anyageloszlás.

Ezt a térképet a nagy adatmennyiség miatt érdemes statisztikai eszközökkel vizsgálni, hiszen egymilliószor három koordináta a fizikus számára értelmezhetetlen. Sokkal jobb az, hogy hogyan néz ki ezeknek az eloszlása. Ezt az ún. kétpont-korrelációs függvényvel szoktuk leírni.

A korrelációs függvény lényege, hogy pontokat látunk a térképen, minden egyes galaxis helyén van egy pont. A függvény azt mondja meg, hogy ha kijelölünk egy adott távolságot pl. 20 Mpc, és megnézzük, hogy hány olyan pontpár van a térképen ahol a galaxisok távolsága pontosan 20 Mpc egymástól. Összeszámoljuk ezeknek a pontpároknak a számát, majd ugyanezt megnézzük 21, 22, 23 Mpc-re. Ebből kirajzolódik egy eloszlás, ez lenne a korrelációs függvény. Látható lesz az, hogy mi az a távolság, amin "szeretnek" a galaxiok elhelyezkedni egymástól, illetve mi az ami nem preferált.

Mi a kétpont-korrelációs függvény pontos definíciója?

$$dP = \bar{N}^2 \cdot [1 + \xi(r_{12})] \cdot dV_1 dV_2$$

A dP azon pontpárok száma, ahol az egyik galaxis a dV_1 térfogatelemben, a másik a dV_2 térfogatelemben foglal helyet, ha a két térfogatelem távolsága éppen r_{12} . Akkor a kétpont korrelációs függvény ebben a képletben indirekt módon van definiálva, mint ξ .

Tehát a kétpont korrelációs függvénynek az a definíciója, hogy ha kijelölök bármilyen két térfogatelemet, melyek r_{12} távolságra vannak, akkor $\bar{N}^2 \cdot [1 + \xi(r_{12})] \cdot dV_1 dV_2$ lesz az olyan galaxispárok száma, ahol az egyik az egyes, a másik a kettes térfogategységben van.

Az \bar{N} nem más, mint a galaxisok átlagos számsűrűsége. A dV_1 térfogatelemben $dV_1 \cdot \bar{N}$, míg a dV_2 térfogatelemben $dV_2 \cdot \bar{N}$ galaxis lesz.

Megfelelő levezetéssel kimutatható, hogy az anyageloszlás teljesítményének spektruma (P_k) nem más, mint a $\xi(r_{12})$ Fourier transzformáltja. Tehát

$$f(\xi(r_{12})) = P_k \quad f'(P_k) = \xi(r_{12})$$

Mit takar az anyageloszlás teljesítményének spektruma?

Az ismert, hogy egy időben periodikusan változó jelet sorba lehet fejteni különböző amplitúdójú, és frekvenciájú szinusz és koszinusz függvények összegeként. Ez a Fourier transzformáció lényege.

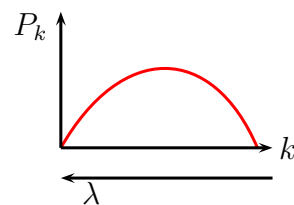
Az amplitúdókat jelölő Fourier komponensek komplex számok, de ha egy komplex szám abszolút érték négyzetét szokás teljesítményspektrumnak definiálni.

A teljesítményspektrum megmondja, hogy adott hullámhosszon mekkora a teljesítmény "rejlík" a jelben, a spektrum pedig mindig egy olyan függvény, ami valamit hullámhossz, vagy frekvencia függvényében ábrázol. A spektrum tehát azt írja le, hogy különböző hullámhosszú koszinusz hullámok milyen teljesítménnyel szerepelnek az adott jelben.

Ezt az alap gondolatot kell alkalmazni az anyageloszlásnál, csak gömbi koordináta-rendszerben, és három dimenzióban. Van egy mért anyageloszlás, és ezt kell gömbi harmonikusok szerint kifejtetni, egészen nagy hullámszámig, melyet a P_k -ban a k index jelöl. (A gömbi harmonikusok különböző méretű, és más-más irányba nyúlt ellipsoidok.) A kérdés természetesen az, hogy melyiket milyen amplitúdóval kell használni, hogy az adott, méretű anyageloszlás pontosan összejjön.

Az anyageloszlás teljesítmény-spektrumát szeretnénk vizsgálni, nem egymilliószor három koordinátát. Mit várunk a

teljesítmény-spektrumra?



Azt, lesz valahol valamekkora lokális maximuma, és kisebb-nagyobb hullámszámokra is esik a függvény. A hullámszám reciproka a hullámhossz (λ), így ez ellentétes irányba fog nőni.

Miért gondoljuk, hogy P_k -nak valahol van egy lokális maximuma?

Minek felel meg a nagy hullámszám?

Kicsi hullámhosszaknak, ezeken azért nem várunk struktúrát (*komponenseket*), mert a galaxisok felmérése során kapjuk a P_k -t. Mivel a galaxisok egymástól néhány száz kpc-re vannak, nagyon kis távolságokat nem tudunk föl-mérni.

Minek felel meg a kis hullámszám?

Nagy hullámhosszaknak, itt azért vág le a spektrum, mert sejtésünk szerint 300 Mpc a struktúra határa, afölötti hullámhosszkomponens már nem lesz, hiszen a majdnem homogén anyageloszlásból véges idő alatt kellett hogy a gravitáció megalkossa ezeket a struktúrákat.

Ha úgy tetszik, akkor az ábrázolt hullámhossznak 1 Mpc az alsó, és 300 Mpc a felső határa.

Azért lényeges az egyre nagyobb térfogat felmérése, mert így válik láthatóvá hogy hol van a csúcs pozíciója hullámhosszban, illetve mi ennek az értéke. Természetesen a csúcs pozíciója az nem azt jelenti, hogy annál a hullámhossznál van struktúra, hanem azt, hogy azon a hullámhosszon van a legtöbb.

Amit igazából könnyű megcsinálni, az nem a P_k , hanem a ξ , hiszen a kétpont-korrelációs függvény képletének és a térkép birtokában, gondolkodás nélkül legyártható egy számítógéppel. Minden egyes galaxispár távolságát meg kell mérni, ami már csak számítástechnikai kérdés.

Ha a kétpont-korrelációs függvényt log-log ábrán ábrázoljuk, akkor egy egyenest kapunk, azaz $\xi \sim r^\gamma$, hiszen a log-log ábrán egyenes.

Ami értékelhető eredmény ebből az egészből, az a gamma értéke. Nyilvánvalóan negatív, mert csökkenő függvényt rajzoltunk. Ez nem meglepő eredmény, hiszen a ξ azt

mondja meg, hogy egy adott távolságban mennyire "szeretnek" lenni egymástól a galaxisok.

Nagyon pongyola megfogalmazással: Mivel a gravitáció egymás felé húzza őket, ezért a kisebb távolságokat jobban "szeretik" mint a nagyobbakat.

Mennyi a gamma értéke?

Az SDSS alapján $\gamma \simeq -1.8$ Megfigyelhető a sűrűségmorfológia reláció a gamma értékében, azaz a spirálgalaxisokra $\gamma = -1.6$, míg az elliptikusra $\gamma = -2$. Tehát az 1.8 egy átlagos érték (ismert, hogy 50-50 % az arányuk hozzáánk közel.).

Azaz az elliptikus galaxisok még inkább a kis távolságokat preferálják. Ez az, ami összevág a hierarchikus galaxisfejlődéssel, amit a múlt órán tanultunk. Mivel az elliptikus galaxisok kialakulásához ütköző spirálgalaxisok kellene, azt várjuk, hogy ott lesz sok elliptikus galaxis, ahol sűrűn vannak a galaxisok és nagy az ütközések valószínűsége.

Koordináta-rendszerek:

Azt mondtuk, mikor a távolságról beszéltünk az első órán, hogy úgy használta a csillagász a távolság egységet, ahogy az a csillagászat fejlődése során az adott léptékű objektumokhoz szükséges volt.

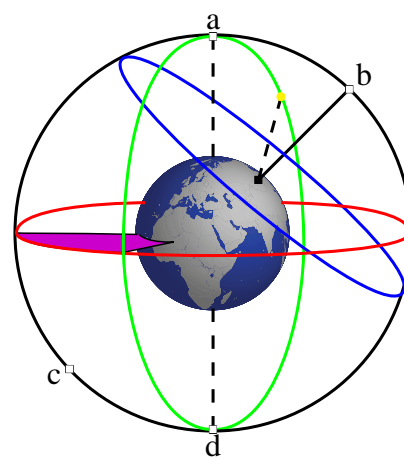
Hasonlóan, a koordináta rendszer is először a naprendszerhez illeszkedett, ezt ekvatoriális koordináta-rendszernek nevezzük. A XX. század második felében, mikor extragalaktikus méréseket kezdtünk végezni, a galaktikus koordináta-rendszert kezdtünk el használni.

Ekvatoriális:

A feladat az, hogy úgy kell meghatározni egy csillag, vagy galaxis helyét az égen, hogy azt mindig mindenki megtalálhassa.

Az ekvatoriális, azaz egyenlítőhöz kötött koordináta-rendszerben.

Hangsúlyozandó, ugyan ez a koordináta-rendszer (a galaktikus is) gömbi polárkoordináta-rendszer, de elképzelünk egy adott sugarú gömböt, ez az éggömb, így a távolság koordinátát ismertnek vesszük. Egyrészt mert az objektum megtalálásához nem kell, másrészt mert nehéz mérni. Irányhoz azonban a két polárszög elég.



Ha kiterjesztjük az egyenlítőt, hogy az éggömböt metsző sík legyen, akkor ez lesz az égi egyenlítő (az ábrán vörös). A forgástengely meghosszabbítása jelöli ki az égi északi pólust (northern celestial pole), az ábrán **a**, és az égi déli pólust (southern celestial pole), az ábrán **b**.

Tegyük föl, hogy van egy megfigyelő. Ehhez tartozik egy horizont, mégpedig úgy, hogy a földgömbhöz illesztünk egy síkot, ami a megfigyelő helyén érinti a földet. Mivel az éggömb sugarához képest elhanyagolható a föld sugara, ez gyakorlatilag egy főkör (az ábrán kék). Az a pont, ami pontosan a fejünk fölött van az éggömbön a zenit (az ábrán **c**), ennek az átellenes pontja a nadir (az ábrán **d**).

Tegyük föl, hogy meg szeretnénk figyelni egy objektumot.

Egyetlen főkör van, amire igaz, hogy rajta van a két égi pólus, és a megfigyelendő objektum. Ezt a főkört órákörnek nevezik (az ábrán zöld). Van egy másik főkör, ami átmegy az északi égi póluson, a délin, és az én zenitemen, ezt hívjuk meridiánnak. (az ábrán a fekete kör)

Mindkét főkör metszi az égi egyenlítőt. Ha úgy tetszik, akkor összeköthetem a koordináta-rendszer középpontját ezzel a két ponttal. Ekkor az égi egyenlítő síkjában kirajzolódik egy szög (lilával jelölve), a meridián és az órákör között. Ez a két sík által bezárt legkisebb szög, az ún. óraszög. Azt mondtuk, hogy két polárszög kell, ez megfelel az egyiknek, $\pm 90^\circ$ között mehet, deklinációnak nevezzük, δ -val jelölik.

A kérdés az, hogy a másik polárszöget honnan viszonyítsuk? A fix pont, az ún. tavaszpont. Ahhoz a pályasíkhoz képest, amilyen síkban a nap körül kering a föld, (ekliptika), ahhoz képest 23.5 fokban dől a mi egyenlítőnk. A tavaszpont az az irány, amerre a napot látjuk márc 21-én, másképpen fogalmazva az ekliptika, és az égi egyenlítő metszéspontja. A tavaszpont és az órákör közötti szög lesz a másik koordináta, melyet rektaszcenzióknak neveznek, és α -val jelölünk. Ennek az értéke $0 - 360^\circ$ között van.

A pozíciókat tehát egy alfa delta párral írhatjuk le. Azonban az óraszög a föld forgása miatt 24 óra alatt 360 fokot változik, és az sem mindegy, hogy földrajzilag hol vagyunk. Így nem elég az α, δ pár, tudni kell, hogy az én zenitemnek mi az alfája és deltája, valamint azt is, hogy mennyi az idő. Ezekből lehet kiszámítani, hogy merre is kell nézni. Az időmérés miatt gyakori az, hogy órában mérik az rektaszenciót ezért nevezik órakörnek ill. óraszögnek.

Galaktikus koordináta-rendszer:

Ott vagyunk mi 8kpc-re a galaxis középpontjától

Ez is egy gömbi polárkoordináta-rendszer, az előzővel analóg módon lehet definiálni. Itt is két polárszög kellene, de nem az égi/földi egyenlítő síkjához illesztjük a koordináta-rendszert, hanem a galaxis korongjának síkjához. A síktól lefelé-fölfelé tudunk magassági adatokat megadni, itt is ugyan úgy ± 90 fok, de itt b -vel jelöljük a galaktikus magasságot (*galactic latitude*). Kell egy polárszög, ami a korong síkjában megy 0-360 fokig, ez az l -el jelölt galaktikus hosszúság (*galactic longitude*). Ennek a nullpontja a galaxis középpontja. Itt is van definiálva az északi, illetve déli pólus, az északi fölfelé, a déli lefelé merőlegesen.

Érdekességképp: Mi a galaxisunk középpontjának az alfája, és deltája? $\alpha=17^{45}$, $\delta=-28$ fok. Tehát a déli féltekén van a galaxis középpontja, Magyarországon éppen csak feljön a horizont fölé.