

Bevezetés az asztrofizikába

Balog Dániel

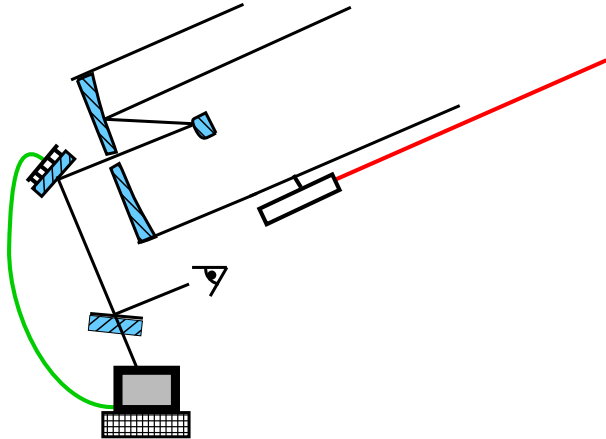
2011. 10. 14

Kiegészítés az előző órához:

Az asztrofizika azért napjaink egyik legjobban fejlődő tudományága, mert az új technológiák mostanra váltak elérhetővé, így az űrben olyan felfedezéseket lehet tenni, amire korábban nem volt lehetőség.

Az adaptív optika:

Azért kell a légkör fölé menni, mert egyrészt szór, és rontja a felbontást, másrészt az EM spektrum nagy részét elnyeli. Elsősorban a páratartalom határozza meg, hogy mennyire szórja szét a légkör pontforrások fényét. A földi távcsövek diffrakciólimitáltsága a seeing tizedét-századát is tudná. Ha adaptív optikával megjavítjuk a felbontást, attól az elnyelés még mindig probléma marad.



Működése:

A féligáteresztő tükör egy vezérlőberendezésre is juttat fényt, és ez a rendszer aktuátorokkal tudja hajlítani a távcső mögötti tükröt. A lézernyalábbal oda világítanak, ahonnan adatot akarunk, és a hullámhossza miatt a sztratoszférában verődik vissza. Emiatt a lézer visszavert fénye a levegő nagy részén át kell hogy jöjjön. Így a galaxisok és csillagok mellett a lézer "mesterséges csillaga" is látható lesz a képen. Ezt a fényképen egy pacának látjuk.

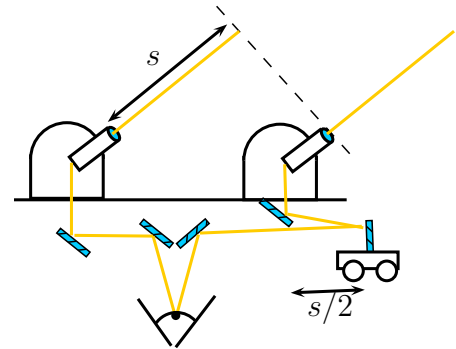
A rendszer úgy hajlítja a kis tükröt, hogy minél kisebb legyen a lézer foltja. Ezt természetesen dinamikusan, ~ 10 Hz-es frissítéssel korrigál, lévén folyamatosan változik a szélirány, hőmérséklet és páratartalom. Mivel a mesterséges "csillag" képét javítjuk, a képmező összes többi képe is javul.

A tubus átmérője meghatározza az elérhető maximális felbontást, tehát egy nagyon jó adaptív optikánál már a diffrakció-limitált felbontás $\sim \frac{\lambda}{d}$ korlátoz. Mivel a fény hullámhossza adott, a tubus átmérőjének növelésével lehet növelni a felbontást.

Interferometria:

A rádióhullámoknak sokkal nagyobb a hullámhossza, mint a látható fénynek, így ott sokkal rosszabb a felbontás, hiszen λ nagy. Elterjedt az a megoldás, hogy a föld két végén lévő rádiótávcsővel az égnek ugyan azt a részét figyelik meg, és pl.: interneten át küldik a felvett jelet, és a kettőt egyszerre használva egy 12000km átmérőjű rádiótávcső két darabjából dolgozhatnak. A valóságban persze ennyire ideálisan nem lehet pont a két átellenes oldalra tenni a távcsövet. De több távcső együttes használatával el lehet érni egy sokkal jobb felbontást, mint egy távcsővel dolgozánk.

Ezt a látható fényel is meg lehet csinálni, csak arra kell figyelni, hogy egy azonos hullámfrontot kell interferáltatni.



Ez a KECK I-II metszete.

Ezek egymástól 80m-re vannak, a szaggatott vonal jelöli a hullámfrontot. Nagyon rövid a hullámhossz ($\sim 500nm$), főleg a távcsövek átmérőjéhez, és távolságukhoz viszonyítva. Azt kell csinálni, hogy mikor a fény eléri a bal oldali tükröt, s -el hosszabb az optikai út. Mielőtt a kettő fényét összeveztetnék, a jobb oldali távcsőbe is be kell iktatni egy s hosszúságú optikai utat. Ezt úgy oldják meg, hogy egy számítógép-vezérelt kerek kocsin mozgatható tükörrel nyújtják meg az utat, és csak utána hozzák össze a képet a közös kamerán.

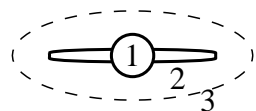
1920 óta ismert, hogy vannak galaxisok, és hogy a galaxishalmazok milyen struktúrát alkotnak az égen, azt az 1950-es években kezdtük megérteni, a tényleges térképezés pedig a 1980-as években kezdődött.

Mit tudtak egy galaxisról az 1920-as években?

1923-ban, E. Hubble mérésével dőlt el, hogy vannak galaxisok. Elkezdte vizsgálni a közeli galaxisok tulajdonságait. Kiderült, hogy morfológiailag (*kinézetre*) két alapvető galaxisfajta van, spirál-, és elliptikus galaxisok.

Spirálgalaxisok:

Három fő komponense van egy galaxisnak:



1. Mag

- gömbszerű
- átmérője 1-2 kPc
- összetétele: öreg, halvány, kis tömegű, vörös csillagokból áll (*nincs gáz*)

A csillagok tulajdonságait a tömeg determinisztikusan meghatározza. Kiderül, hogy a nagy tömegű, fényes, kék csillagok hamar kiégnek, míg a kicsi, halvány, vörösek nagyon sokáig élnek. A csillagok gázfelhőből alakulnak ki, és ha nincs csillagkeletkezés, a kék kiégnek, csak a vörösek maradnak, tehát nem található gáz a magban. A csillagkeletkezés lezajlott, az összes erre fordítható gáz fel lett használva, a nagy kék csillagok réges-régen fölrobbantak, reciklálódott a bennük lévő gáz a többi csillagba, és a központi fekete lyukba.

- központi szupernehéz fekete lyuk. (*a mag közepén.*) Ezt abból lehet tudni, hogy ma már a közeli galaxismagoknál meg lehet figyelni a csillagok pályáját. A korongban lévő poron a látható fény nem jut át, de az infravörös igen, tehát IR távcsővel megfigyelhető a mi galaxisunk magja, ott látni lehet a csillagok mozgását. Azt lehet látni, hogy a csillagok ellipszispályán keringenek valamilyen láthatatlan vonzócentrum körül.

Ezt nagyságrendileg 10 évig nyomon követve kirajzolódik az ellipszispálya, az megmérhető, hogy milyen alakú, és mekkora a pálya, és azt is, hogy rajta milyen sebességgel mozog a csillag.

Kepler törvényekkel ki lehet számolni azt a tömeget, aminek az egyik gyújtópontban ott kell lennie. A mérés szerint a galaxisunk közepében egy $2 \cdot 10^6 M_{nap}$ tömegű fekete lyuk van.

A méretből az nyilvánvaló, hogy akkrécióval gyűjtötte

a tömegét tehát beszívta magába a magban lévő gázt. Ezért nincs a fölrobbanó szupernóvák maradékeként túl sok gáz, mert elnyelte a lyuk, és már csak a körülötte stabil pályán keringő kicsi vörös csillagok maradtak.

- radiális sűrűségeloszlás: Az angol brightness miatt B -vel jelöljük a fényességprofilt. Ezt empirikusan határozta meg De Vaucouleurs

$$B(r) = B_e \cdot e^{-7.67 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right]}$$

Úgy van definiálva az effektív sugár, hogy a teljes fényesség fele van az r_e effektív sugáron belül. Hogyan kell ezt kiszámolni?

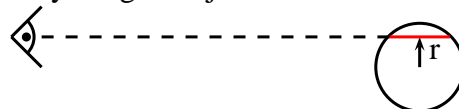
$$\int_0^{r_e} B(r) \cdot \underbrace{4\pi r^2}_{\text{felület}} dr = \underbrace{\frac{1}{2} \int_0^{\infty} B(r) 4\pi r^2 dr}_{\text{teljes fényesség}}$$

A B_e természetesen az effektív sugárnál mért fényesség.

A gond ezzel az, hogy nem létezik olyan emisszivitásfüggvény, ami ezt az empirikus képletet megmagyarázná.

Mi az emisszivitásfüggvény?

Nézzük meg, hogy mit jelent hogyha a középponttól mért adott távolságban nézünk a galaxisra, akkor $B(r)$ a fényesség. Mit jelent ez?



Ha ránézünk egy galaxis magjára, középpontjától r távolságra, mivel a csillagok pontszerűek, így nem takarják ki egymást, a $B(r)$ fényesség a vörössel jelölt sávban lévő összes csillag fényességének összege. Mivel a magban gömbszimmetrikus a sűrűségeloszlás, ez egy $\epsilon(r)$ -el jelölt radiális sűrűségeloszlással írható le. Ez az emisszivitás-függvény. Azt a közelítést használja, hogy minden csillag pontosan olyan, mint a mi napunk. Ez azért használható, mert a különféle csillagok homogén eloszlásúak. Tehát ha megadjuk, hogy hogyan csökken a csillagok sűrűsége a középponttól kifelé haladva, akkor azzal az összfényességük eloszlását is megadtuk.

Hogyan lehet egy sűrűségeloszlásból fényességprofilt kapni? A látóirány mentén össze kell integrálni az $\epsilon(r)$ -et, (*y-al paraméterezve a vörös szakaszt*)

$$B(r) = \int_{-\infty}^{\infty} \epsilon(\sqrt{r^2 + y^2}) dy \quad (1)$$

Keressük azt az ϵ -t amit így integrálva megkapjuk a De Vaucouleurs-féle fényességprofilt. A probléma az,

hogy 1976-ban Young bebizonyította, hogy nincs olyan $\epsilon(r)$ amivel kijön. Tehát ez a fényességprofil nem helyes. Be lehet vezetni, a Jaffe-féle gömböt

$$\epsilon(r) \sim \frac{1}{(r^2)(a+r)^2}$$

Ha ezt kiintegráljuk, akkor a De Vaucouleurhoz nagyon hasonló fényességprofilunk kapunk.

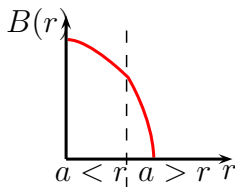
Ebben az a egy skálaparaméter, metrikusan megegyezik r -el.

Mi van akkor, ha $r \ll a$?

A második tagban az a dominál.

$1/a^2$ konstans, tehát a középpont-hoz közel ez egy $1/r^2$ -es profil.

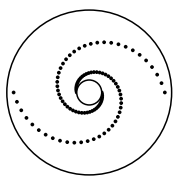
Ha $r \gg a$, akkor az a hanyagolható el, és $1/r^4$ -sé változik a profil, erősen levág.



Összefoglalva:

Nem a radiális sűrűségeloszlást, hanem a radiális fényességprofil lehet megmérni. Az 1-es egyenletnek a megoldásával lehet ϵ -t, a gömbben a sugárirányú sűrűség változást kiszámítani. Ennek nincsen megoldása, de ha Jaffe ötletét elfogadjuk, akkor az kb. a mért fényességprofil eredményezi, és ezt a sűrűségeloszlást tételezzük fel egy galaxismagra.

2. Korong:

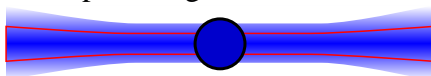


Abból fakad a spirálgalaxis név, hogy a korongban logaritmus spirál alakú karok vannak. Mindenfelé vannak csillagok, gáz, és egyéb fényes objektumok, de mintha a karokban összesűrűsödnek.

- 12-15 kpc a sugara

Mi a naprendszerben 8 kpc-re vagyunk a tejútrendszer közepétől.

- 2-300 pc vastag



A vastagságot úgy kell érteni, hogy a korong síkjához közel sok a csillag, és kifelé haladva egyre kevesebb. Ennek a félértékszélessége 2-300 pc.

A fényesség kifelé haladva csökken, a vastagság azonban nő, mert ha csökken sugárral kifelé haladva a sűrűség, akkor a kószáló csillagokra ható visszahúzó erő is csökken, hiszen kevesebb a tömeg. Így messzebb tudnak elkószálni.

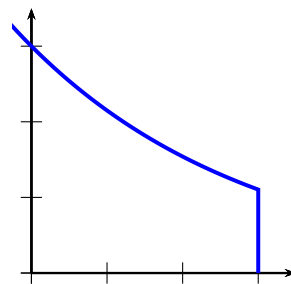
- fényességeloszlás:

Mivel a korong nagyon vékony, ezért itt felületi sűrűséget definiálunk. A felületi fényesség

$$\Sigma(r) = \Sigma_0 \cdot e^{-\alpha r}$$

Ezt exponenciális korongnak is nevezik. Az α láthatóan $1/r$ dimenziójú, skálahossz. (pl. a Tejútrendszerben ~ 4 1/kpc)

A vastagsággal ellentétben a galaxisnak radiálisan van egy éles határa, ez $(4 - 4,5\alpha r)$.

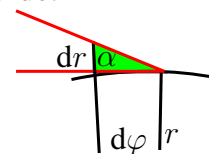


- Összetétel: mindenféle csillag, gáz, por. Mivel gázfelhőkből összenyomással keletkeznek a csillagok, ezért itt folyamatos csillagkeletkezés van, és ezért van mindenféle csillag. (a kiegészítő kék csillagok újratermelődnek.)

- spirálstruktúra:

Miért mondjuk azt hogy logaritmus spirálkar?

A logaritmus spirál definíciója az, hogy bármilyen sugárnál egy kör és a spirálhoz húzott érintő által bezárt szög (α) állandó.



Amennyiben egy polárkoordináta-rendszerben írjuk le, a spirál minden pontjához egy (φ, r) koordinátapár tartozik. Egy $d\varphi$ szögváltozáshoz egy dr sugárirányú elmozdulás tartozik.

Hogyan írható fel az alakja?

Ismert az α szög, a másik befogó ismeretében dr kiszámítható.

Mekkora a másik befogó?

Paraxiális közelítés miatt $d\varphi$ egyenlő $\sin(d\varphi)$ -vel, így a befogó $r \cdot d\varphi$. Átrendezve:

$$\int d\varphi \operatorname{tg}(\alpha) = \int \frac{dr}{r}$$

$$\left(\varphi - \overbrace{\varphi_0}^c \right) \operatorname{tg}(\alpha) = \ln(r)$$

$$\frac{\ln(r)}{\operatorname{tg}(\alpha)} = \varphi - \varphi_0$$

Ez a görbe egyenlete.

Ezek szerint a fényesség (φ, r) függvénye, hiszen az eddig ismert exponenciális függés mellett nem csak r függő a fényesség, hanem egy konstans r mentén ha

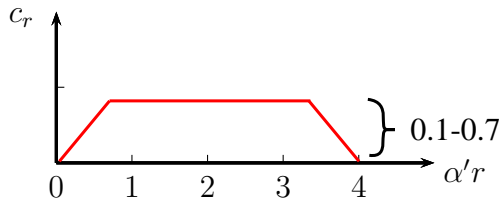
körbehaladva sem állandó az eloszlás. A spirálszerkezetet leírásához azt feltételezzük hogy a egy körbefutó szinuszfüggvény. Attól függően, hogy hány spirálkar van, egy multiplicitásnak nevezett paramétert lehet változtatni. Emellett van egy kontrasztja is a spirálkarnak, hogy mennyire emelkedik ki az átlagos fényességből. Ezt úgy szokták leírni, hogy $\Sigma(\varphi, r) =$

$$\Sigma_0 \cdot e^{-\alpha'(r)} \cdot \left(1 + C_r \left\{ \sin m \cdot \left(\varphi - \varphi_0 - \frac{\ln(r)}{\text{tg}(\alpha)} \right) \right\} \right)$$

Az α' a skálahossz reciproka, a C_r a kontraszt, m a spirálkarok száma, a φ_0 a "fázisszög"

Tegyük fel, hogy nincsenek spirálkarok.

Ilyenkor a kontraszt nulla, csak az exponenciális lecsengés van. Ha van kontraszt, értéke értelemszerűen $[0;1]$ tartományban változhat. Ha egy, akkor maximális a kontraszt, akkor a szinusz értéke a ± 1 között változik, így a zárójelben lévő összeg a $[0;2]$ tartományban lesz. A kontraszt a skálahossz függvényében:



Az m általában kettő, de pontosabb megfogalmazás, hogy páros szám.

3. HALO

- sugara 50 kPc

- I-es elem

A látható HALO, a maghoz hasonló. Természetesen ez egy iszonyatosan halvány komponens, amiben nagyon kevés, kószáló csillag van, de gömbszerű eloszlásban, és ugyanúgy kis vörös csillagok vannak.

- II-es elem

A nem látható, "sötét" HALO. Asztrofizikai szempontból messze ez a legfontosabb komponense a galaxisnak.

Honnan tudjuk, hogy van sötét HALO?

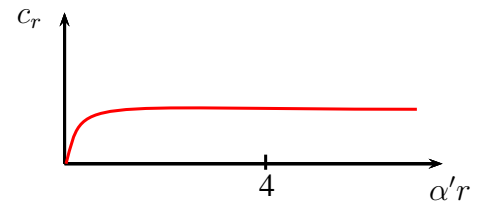
Onnan, hogy ennek az anyageloszlása (ez az amit $\varepsilon(r)$ -el írtunk le a mag esetén) izotermális, $\varrho(r) \sim \frac{1}{r^2}$. A galaxis össztömegének 90%-a itt található.

Honnan tudjuk a tömegeloszlást?

A rotációs görbéből. A $v_c(r)$ a keringési sebesség a középponttól mért távolság függvényében. Ezt úgy lehet megmérni, hogy legyen egy externális galaxis, amit az éle mentén látjuk. Keressünk a két szélén egy-egy

csillagot, és megmérjük a spektrumát. Az egyik távolodik, a másik közeledik, hiszen keringenek a galaxismag körül. Előbbi vörös, utóbbi kékeltolődást szenved, és spektroszkópiával ez a sebesség megmondható. A $v_c(r)$ a sebességkülönbség fele, lévén ez az eltolódás a rendes vöröseltolődésre rakódik rá.

Hogyan néz ki a rotációs görbe a távolság függvényében?



A konstans érték 200-220 km/s egy átlagos galaxisnak. Miért konstans ez?

A naprendszer körsebességének $1/\sqrt{r}$ -es sugárfüggése abból adódik, hogy a teljes tömeg a napban koncentrálódik, itt pedig homogén az anyageloszlás, ami a rotációs görbéből visszszámolva $1/r^2$ -es sűrűségeloszlást jelent. Ami nagyon meglepő, hogy a galaxis szélénél vége van a látható anyagnak, de továbbra is konstans a görbe, a korong látható szélén jóval túl is.

Ezt honnan tudjuk? A HALO I-ben a kószáló csillagoknak megmérhető a sebessége, és ott is konstans. Itt van a sötét anyag (*dark matter*), erről ma sem tudjuk, hogy micsoda.

Magyarázatok:

- WIMP-nek (*csak gyenge kölcsönhatásban résztvevő tömeggel rendelkező részecskék*) nevezik a részecskefizikusok a neutrínószerű részecskéket. Részecskefizikusok ötlete valamilyen egzotikus részecske, pl. neutrínó, Ez egy hosszan tartó ötlet volt, a hetvenes években merült föl, hogyha egy neutrínónak, ami csak gyenge kölcsönhatásban vesz részt, 20 eV lenne a tömege, akkor meg lenne a hiányzó tömeg. Azt pontosan ma se tudjuk, hogy mekkora egy neutrínó tömege, de azt már igen, hogy kevesebb mit 2eV.
- Az is lehetséges magyarázat, hogy asztrofizikai objektumokból áll a sötét anyag, ezt MACHO-nak (*Massive astrophysical compact HALO object*) ez egy tömeggel rendelkező, makroszkopikus valami. Ez kb. azt jelenti, hogy egy rakás Jupiter szaladgál a HALO-ban. Vannak is rá kísérletek, pl. a micro lensing. Úgy akarják kimutatni, hogy ha elhalad egy csillag előtt, akkor egy kicsit erősíti (fókuszálja) a fényét.

elliptikus galaxisok:

Az elliptikus galaxis olyan mint a spirálgalaxis, csak nincs spirál, és HALO.