

=====

14. kapitola o Galaxii

OBR Mléčné dráhy na obloze (Mellinger)

MW vypadá z boku jako NGC4565

odkaz na Galaktickou stezku (http://www.astrohk.cz/galakticka_stezka/)

HISTORIE

Galileo (1610) - rozlišení MW na *
Kant (1750) - MW je disk, mlhoviny = ostrovní vesmíry
Herschel (1790) - počty * => zploštění MW 1:5, Slunce v centru
Parsons (1850) - objev spirálních mlhoviny => rotují?

Kapteyn (1900) - fotografická pozorování MW
=> průměr MW ~ 1 kpc, Slunce v centru
Shapley (1900) - rozložení GC => Slunce 15 kpc od centra

-> spor, vyřešen objevem mezi* extinkce

Hubble (1923) - rozlišení M31 a M33 na *, Cefeidy, vzdálenost 300 kpc

OBR M31

Lindblad & Oort (1926) - v_{rot} Galaxie 200-300 km/s, $r = 8.5$ kpc
z pohybů hvězd v okolí Slunce

Hubble (1929) - objev rozpínání vesmíru ($H = 530$ km/s/Mpc)

Trumpler (1930) - potvrzení mezi* extinkce

Baade (1944) - objev populací I a II porovnáním okolí Slunce, M31
a jejich průvodců

van der Hulst (1944) - předpověď emise neutrálního H (hyperjemný přechod
na vlnové délce 21 cm)

(1951) - první pozorování záření 21 cm rádiovými teleskopy

Schmidt (1962) - objev kvasarů (objektů s velkým rudým posuvem)

Penzias & Wilson (1965) - objev mikrovlnného pozadí (CMB)

=====

GALAXIE

=====

- kruhová rychlost $v_c(R_0) = 220$ km/s
- vzdálenost centra $R_0 = 8,5$ kpc

+ základní složky:

a) VÝDUŤ = systém POPULACE II (nižší Z, staré *, žádná rotace)

pozorovaná plošná jasnost: $I(R) = I_0 10^{(-3.33*(R/R_e)^{0.25} - 1)}$
(de Vaucouleurův zákon, empirický)

b) DISK = POPULACE I (vyšší Z, mladé *, rychlá rotace)

$I(R) = I_0 \exp(-R/R_d)$ (Hubbleův-Reynoldův z.)

<- též obsahuje plyn HI, H2, GMC, prach, horký plyn (zahřátý SFR, SN)

c) BARYONICKÉ HALO = také POPULACE II

<- GC, řídký plyn HI/HII, někdy horký RTG zářící plyn)

d) HALO TEMNÉ HMOTY (dominuje nad 10 kpc, zploštělé?)

(Pop I a II je obecné pojmenování * systémů, nejen informace o metalicitě * Z. Viz také níže OC a GC.)

+ ROTAČNÍ KŘIVKA (a gravitační potenciál) Galaxie

- pro pohyb * hvězd je rozhodující celkové gravitační působení vzdálených *, nikoli blízké * (k přiblížením dochází zřídka)

- jednoduché potenciály (sférické přiblížení):

hmotný bod $\Phi(r) = -GM / r$

homogenní sféra $\Phi(r) = -1/2 \sqrt{G 4/3 \pi \rho} r^2$

(též harmonický p.)

isochronní $\Phi(r) = -GM / (b + \sqrt{b^2 + r^2})$

modifikovaný Hubble $\Phi(r) = ???$

^^^ odpovídá přibližně profilu plošné jasnosti $I(R)$ Galaxie)

připomeňme též jim odpovídající kruhové rychlosti:

$m v_{\text{kepl}}^2/r = G m M / r^2 \Rightarrow v_{\text{kepl}} = \sqrt{GM/r}$

$m v_{\text{homo}}^2/r = G m 4/3 \pi r^3 \rho / r^2 \Rightarrow v_{\text{homo}} = \sqrt{G 4/3 \pi \rho} r$

OBR typická trajektorie * v Galaxii ("rozeta")

OBR rotační křivka Galaxie

-> není ani keplerovská ani neodpovídá homogenní sféře! (ale "něco mezi")

pozorujeme $v(r) = \text{konst.}$, tj. $\omega = v/r$

=> 1. existence TEMNÉ HMOTY (DM) v halu <- 5x až 10x více než svítící
(pro zjištění DM musím měřit $v(r)$ pro $r \gtrsim 5 r_S$ <- pozorování HI oblastí)

=> 2. DIFERENCIÁLNÍ ROTACE => problém zavíjení ramen? <- NE!

SPIRÁLNÍ RAMENA jsou totiž tvořena různými * v různých časech

-> VLNY HUSTOTY (s amplitudou ~10 % střední hustoty)

pozn. o rozplývání rozlehlých struktur, např. zbytků po supernovách (SNR)

Jakým směrem se spirály točí? Není jednoduché zjistit, zda se na galaxii dívám zespodu nebo zvrchu, ale většinou se jejich ramena jakoby "zavíjejí".

+ původ ramen:

- dlouho trvající (stacionární) jev? <- většina diskových galaxií je má (Lindblad 1963)
- samovolné zesílení malých perturbací hustoty? (Toomre 1981)
- vzájemné interakce galaxií => produkují výrazné spirály? (M51, M81)
- "řetězová" tvorba * => stochastické spirály? (NGC 2841)
 - <- některé nové * vybuchnou jako supernovy a jejich rázové vlny spustí tvorbu * v sousedství...

=====

4 ZÁKLADNÍ TYPY GALAXIÍ

- eliptické (E) 60 % (včetně d) <- Pop II
- čočkové (S0) přechod mezi E/S
- spirální (S) 30 % <- Pop I
- spirální s příčkou (SB)
- nepravidelné (Irr) <15 %

+ kritérium pro klasifikaci: zejména tvar, obsah plynu

OBR Hubblova "ladička"

+ galaxie, které Hubblova klasifikace neobsahuje:

- trpasličí: eliptické dE (nejčtenější!), BCD (Blue Compact Dwarfs)
- obří cD (eliptické difuzní v centrech kup)
- LSB (Low Surface Brightness)
- aktivní: rádiové, kvasary, Seyfertovy
- interagující, splývající, s překotnou tvorbou *

+ vývojové procesy ovlivňující morfologii:

- formování příčky (působí mj. tok plynu směrem k centru)
- rozpad příčky
- kanibalismus (pohlčení menší)
- slučování galaxií

převažující směr vývoje: S ("pozdní") ---> E ("rané")

(Hubble si původně myslel, že vývoj jde opačným směrem, kvůli tomu, že E obsahují hlavně * Pop II. Dnes si myslíme opak podle N-částicových simulací procesů a podle pozorované morfologie dávných galaxií.)

3 SCÉNÁŘE VZNIKU GALAXIÍ

gravitační nestabilita v kosmologicky expandujícím plynu baryonické látky a nebaryonické temné hmoty:

- MONOLITICKÝ KOLAPS jednoho oblaku (baryonické + temné látky) na jednu galaxii, baryonická látka vyzáří energii a tím se koncentruje ke středu! (temná hmota toto udělat nemůže)
- CHLADNÁ TEMNÁ HMOTA (hmotné elementární částice pohybující v $\ll c$)
HIERARCHICKÉ formování galaxií (zdola-nahoru)

1. struktury mají hmotnost $\sim 10^6 M_S$
 <- protogalaktické fragmenty?, velmi masivní *?, něco jako kulové hvězdokupy?
 galaxie (s $M \sim 10^{11} M_S$) vznikají postupným SLUČOVÁNÍM

--> tento model je nejlepší!

c) HORKÁ TEMNÁ HMOTA (typická v $\sim c$) <- rozmytí malých struktur (vyrovnání teploty)

1. struktury VETŠÍ než dnešní galaxie
 <- kupy galaxií?
 vznik jednotlivých galaxií FRAGMENTACÍ (zhora-dolu)

+ numerické studie EXTRAPOLUJÍCÍ podmínky raného vesmíru
 (problém se zahrnutím vzniku hvězd <- např. SN jej mohou podporovat nebo potlačovat; interagující galaxie jsou evidentně místa intenzivní tvorby *)

+ hluboké prohlídky oblohy:
 => jak se mění morfologické typy galaxií s časem
 => jak se mění rychlost tvorby * s časem

<= obojí je v souladu s modelem b); a) a c) odporují pozorováním
 (například v nich vznikají příliš výrazné struktury na velkých škálách,
 nebo velkoškálová struktura vzniká dříve než galaxie)

OBR "strom" postupného slučování

-> problém se vznikem spirálních galaxií:
 slučování jakýchkoliv protogalaxií by vznikaly pouze eliptické!
 -> řešení: stálý PŘÍTOK PLYNU z okolního prostředí
 <- asi proto jsou eliptické tak podobné VÝDUTÍM spirálních!

=====

CHEMICKÝ VÝVOJ GALAXIE -> vliv * na mezi* hmotu (ISM)

místo vzniku	prvky	mechanismus emise do ISM
hoření H ve slupce RG (CNO-cyklus)	N14, He a prvky vznikající s-procesem	konvektivní transport k povrchu RG a pak * vítr
hoření $3\text{He} \rightarrow \text{C}$ v AGB *	C12, O, He, s-proces, málo N	termální pulzy během fáze AGB; uhlíkové *, LBVs (Luminous Blue Variable), Miridy -> planetární mlhoviny
SN II hoření těžších prvků	O, Ne, Mg, Si, S, Ca, r-proces, málo Fe	hoření C, O, Ne, Si ve slupkách; He, C, Ne, N částečně * větrem, ale většina při explozi SN II
SN Ia uhlíko-kyslíkový WD ve 2* akretuje $10^{-7} M_S/\text{yr}$ nebo splynutí 2 WD	skupina Fe málo Mg, Si, S, Ar, Ca	transformace akreovaného H, He na C, O při záblescích H, He; překročení Chandrasekharovy meze 1,4 M_S -> hoření C v jádře -> rozepnutí vrstev -> destrukce WG při explozi SN

- určitou dobu (100 Myr) potom trvá, než se horké ISM ochladí,
 aby z něj mohla gravitačním kolapsem vzniknout další generace *

=====

2 TYPY *kup

	otevřené (OC)	kulové (GC)
* populace	I	II
počet *	10^2 až $3 *$	10^4 až $6 *$
rozměr	1-10 pc	50 pc
stáří	100 Myr	10 Gyr
počet v MW	10^5	10^2
hustota *	$10^2 \text{ M}_\text{S}/\text{pc}^3$	$10^4 \text{ M}_\text{S}/\text{pc}^3$

|
V

v okolí Slunce pouze $0,05 \text{ M}_\text{S}/\text{pc}^3$
=> na obloze bychom viděli ~100 krát více *!
(nikoli 10^5 krát, protože tolik jich v GC není)

KULOVÉ HVĚZDOKUPY (GC)

viz seznam 150 GC v Galaxii:

<http://seds.lpl.arizona.edu/~spider/spider/mwgc/mwgc.html>

- stáří 10 Gy
- 2 skupiny GC (výduť, halo)
- jedna hvězdná populace
- kompaktní skupiny <- galaktické slapy již * na okraji odvrhly

ALE

- existují i 6 Gyr mladé GC, např. Whiting 1 v trpasličí galaxii Sgr (Carraro et al., 2007)
- existují 2 i 3 populace *, např. v Omega Cen (Villanova et al., 2007), NGC 2808?
- existují * unikající z GC, např. okolo Palomar 5 je vidět "ohon" (Odenkirchen et al., 2003)

POHYB * V GC

- trojúhelníkovitý tvar ($r_{\text{od_centra}}$, $v_{\text{radiální}}$), tzn. * na okraji GC mají $v_r = 0$ => kmitání * přes střed

Gravotermální katastrofa:

1) hvězdy jako ideální plyn (zavedení teploty):

$$\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

($\langle v^2 \rangle$... střední hodnota kvadrátu rychlosti)

celková kinetická energie systému:

$$K = \frac{3}{2} N k_b \langle T \rangle$$

(N ... počet *, $\langle T \rangle$... střední teplota)

2) VIRIÁLOVÝ TEORÉM: celková energie VÁZANÉHO self-gravitujícího systému je $E = -K$ (podobně jako v problému 2 těles), tedy

$$E = -3/2 N k_B \langle T \rangle$$

pak tepelná kapacita systému je:

$$C = dE/d\langle T \rangle = -3/2 N k_B < 0$$

JE ZÁPORNÁ! => Při ZTRÁTĚ energie se systém stává TEPLEJŠÍ!

Toto platí u všech vázaných && konečných systémů s převládající GRAVITACÍ,
např. NITRA HVĚZD (když termonukleární reakce probíhají rychleji
a dodají energii jádru, to se rozepne a ochladí)

(Toto se zcela liší od obvyklých laboratorních systémů,
tam prostě odebereme nějaké teplo a normálně se sníží teplota.)

=====

BH v centru Galaxie - viz kapitolu o kosmologii

=====