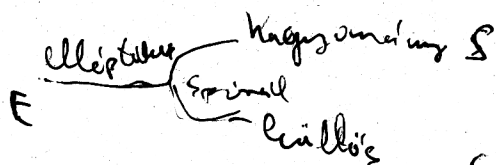


Hubble morfol. osztályozása: - elliptikus

- spirál

- Hubble diagram



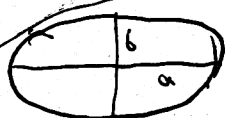
elliptikus - mennyire elaszt.: kör szerű: 0

E0

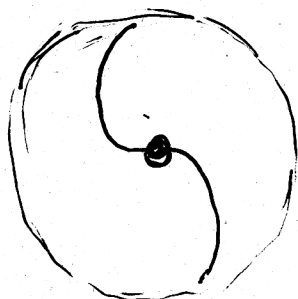
E7

nyíró lapát: 7

$$\frac{10(a-b)}{a}$$



oldal (edge on)



felül (face on)

- sűrűség profil: elliptikus, spirál magja nagyon hasonló

- De Vaucouleurs, profil mérési

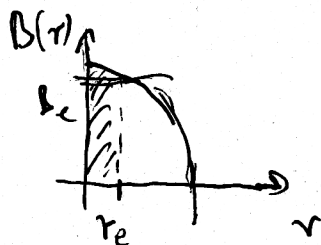


megmértem a fényességet (B) r távolságban

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

Leimpholts formula

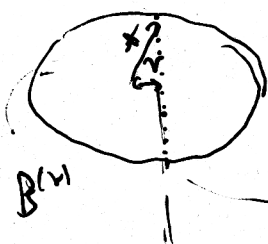
~~re~~ T_e definíciója:



$$\int_0^{r_e} B(r) 4\pi r^2 dr = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} B(r) 4\pi r^2 dr$$

↑
teljes felmérés feltétele

$$B_e(r) = B(r_e)$$



itt valószínűleg felmérés (nem teljes körű)
hisz egyenlítő



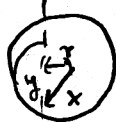
véletlen variáció

- 1 megfigyelés: 70 csillag a galaxisban

- emissziósintetikus fv. r függés, $\neq$ csillag, megfigyelés

$E(x)$ $\rightarrow$ eloszlás

$B(r)$



$$x^2 = y^2 + r^2$$

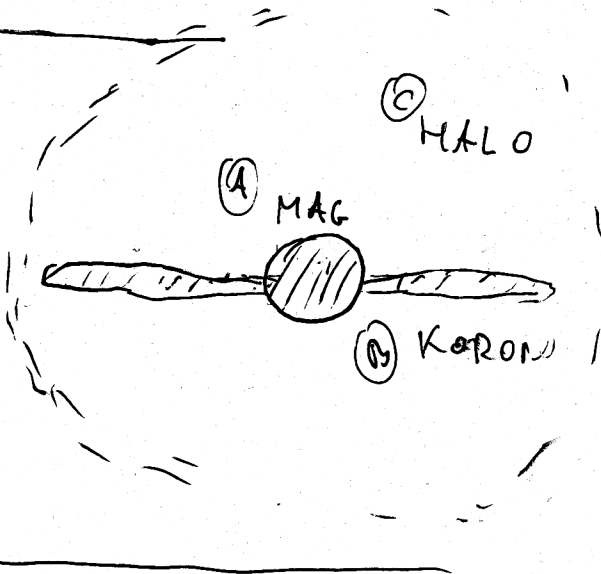
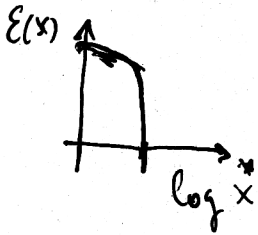
$$B(r) = \int_{-\infty}^{\infty} E(x) dy = \int_{-\infty}^{\infty} E(\sqrt{y^2 + r^2}) dy = B_e \cdot e^{-7.67 \left(\left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/4} - 1 \right)}$$

$\rightarrow$ ennek nincs megoldása, nem lehet először az a fv.

Jaffe:
luminositas

$$E(x) \sim \frac{L \cdot 1}{x^2 (a+x)^2}$$

→ majdnem $\propto 1/x^2$

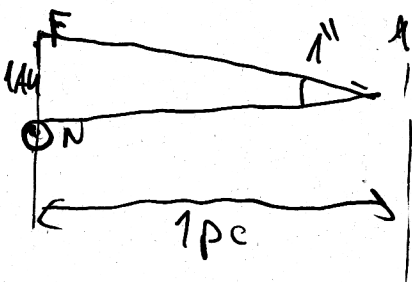


mértékegységek
, csill. egység

1 A.U. - Nap-Föld távolság

~ 150 millió km

Plutó ≈ 40 A.U.



1 A.U. $1''$ látószög $\rightarrow$

1 pc - ra van az (parsec)

1 pc = 206 265 A.U.

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ L.Y (fényév)}$$

$$\text{legközelebbi csillag} \approx 1.3 \text{ pc}$$

~~Galaxis~~

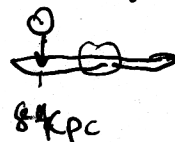
$$(A) \text{ (mag)} \sim 1-2 \text{ kpc} \text{ mérete}$$

$$\text{csomó (B)} \sim 10-12 \text{ kpc}$$

$$\sim 1:20 \quad \Longleftrightarrow$$

$$\sim \text{vastagság} : 2-300 \text{ pc (váprst helyén)}$$

↓
sugar felkanyarod



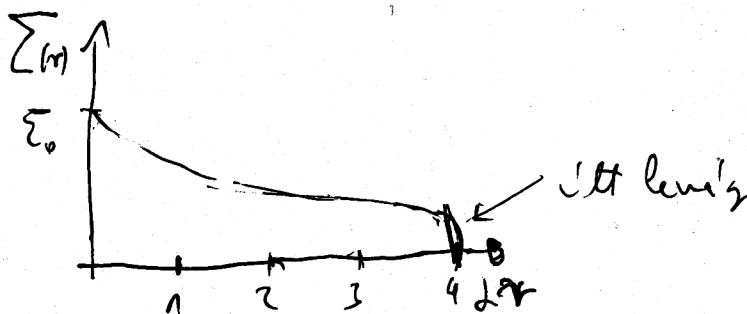
$$(C) \sim 50-100 \text{ kpc}$$

(B) exponenciálisan csökken az anyag

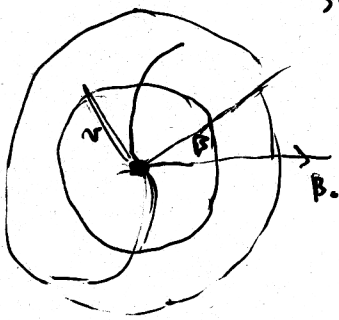
$$\Sigma(r) = \Sigma_0 \cdot e^{-r/L}$$

$$\uparrow \text{ felületi sűrűség} \quad \Sigma_0 = \Sigma(0)$$

$$L \approx \frac{1}{4} \text{ kpc}$$

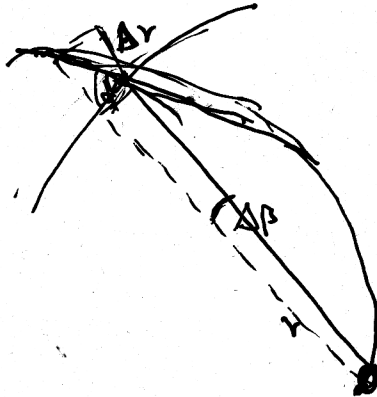
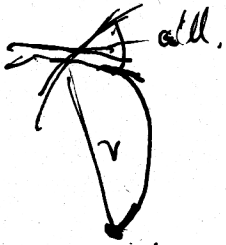


Seitung is



$$\sin[(\beta - \beta_0)m]$$

-logarithmische spirale: konstante ar emelkedés



$$\frac{\Delta r}{\Delta \beta \cdot r} = \tan \phi$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \Delta \beta \tan \phi$$

$$\ln r = \beta \tan \phi$$

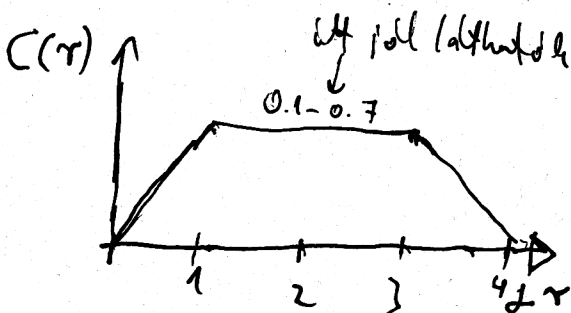
$$\frac{\ln r}{\tan \phi} = \beta$$

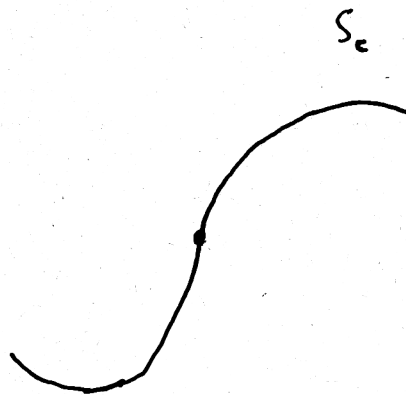
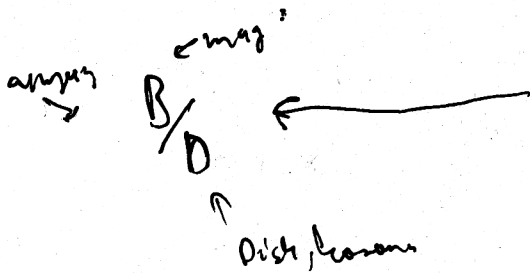
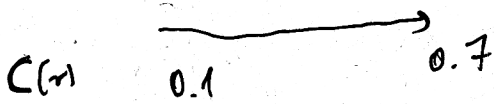
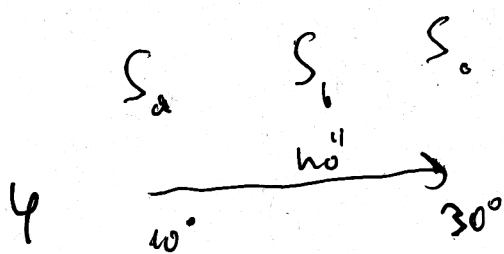
$$r = e^{\beta \tan \phi}$$

$$\Sigma(r, \beta) = e^{-\beta r} \sin \left[m \left(\beta - \beta_0 - \frac{\ln r}{\tan \phi} \right) \right] C(r)$$

↳ Spirale kerek kontraszt.

$$\Sigma(r, \beta) = \int_0^{-\beta r} e^{-\beta r} \cdot C(r) \left[1 + \sin \left(m \left(\beta - \beta_0 - \frac{\ln r}{\tan \phi} \right) \right) \right]$$





SO - lense alakú galaxis

altmener



korong részlet

- irregularis galaxis $\rightarrow$ spirális Irr $\rightarrow$ 50% lehet létezik

- 12 létezőre 50% irregularis

keletkezés: porfelhő $\rightarrow$ hisz pendületű anyag, keletkezés: feltehetően

~~feltehetően~~ $\rightarrow$ KVAZAR $\rightarrow$ feltehetően
 ↓
 lense

→ ~~ell~~ talány → csillagok, mag, nincs más gáz & anyag

→ sp.

KV → aktív galaxis mag → Spirál → galaxisok ütlőzések

→ elliptikus galaxisok

M87 hatalmas galaxis, rengeteg ütlőzések alment

magnitudo

2 csillag magn. különbség

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \left(\frac{f_1}{f_2} \right)$$

2.5

2.5 csill. flóteró fluxus

szemmel log arányosság

leggyengébb csill. magnitudoja ~ 1

$$\left. \begin{array}{l} m=1 \\ m=6 \end{array} \right\} \Delta m = 5 \sim \frac{f_1}{f_2} = 100 \Rightarrow 2.5$$

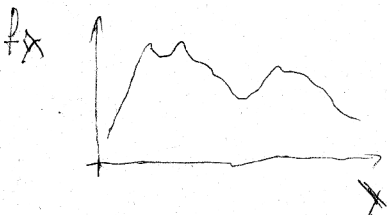
$$m = -2.5 \log_{10} f + \text{const}$$

hatalmas

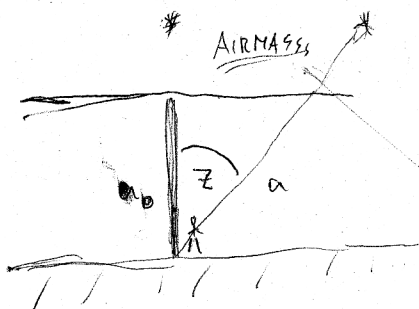
$$f \equiv \int_0^{\infty} \left[P_r T_r F_r R_r Q_r \right] d\nu$$

$$\int_0^{\infty} f_{\lambda} (T_{\lambda} F_{\lambda} R_{\lambda} Q_{\lambda}) d\lambda$$

különböző felületi szórások



T_λ - transmissio - átvesztés és befogás
 az az arány, ami a beeső és a kimenő sugár között van

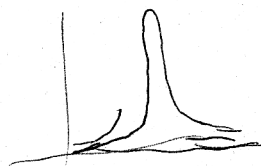
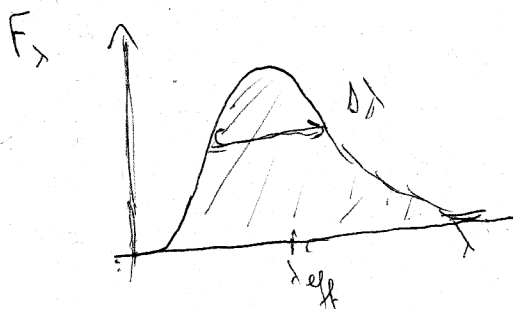


z - zenit távolság

$$\frac{\alpha}{a} = \frac{1}{\cos z} = \sec z$$

$$T_\lambda \approx e^{-\alpha a_0}$$

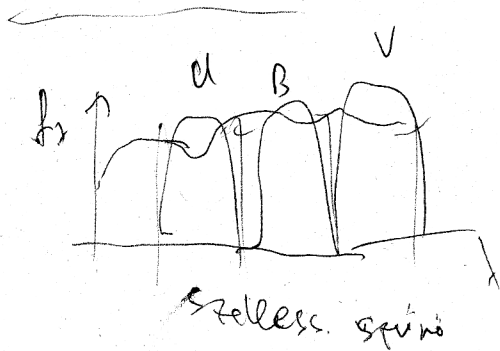
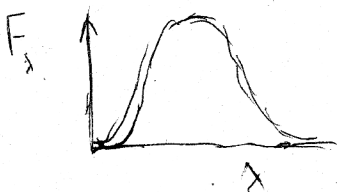
F - filter - különböző szűrővel befogás (szűrés) $\Rightarrow$ befogás $\Rightarrow$ szűrés



$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_{eff}} \approx 10-20\% \text{ szélesség}$$

1-2% szélességű szűrő
 spektrum vizsgálata
 tudatos mérés

$$f = \int_0^\infty f_\lambda(T_\lambda F_\lambda Q_\lambda) d\lambda$$



195) Johnson - Morgan

Szűrő rész.

U 365 nm

ultraibolya

B 445 nm

blue

V 556 nm

green

lússó R 658 nm

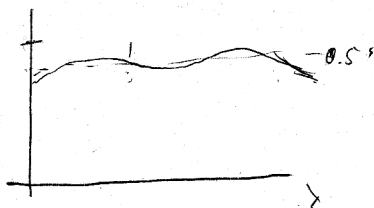
I 800 nm

na. a gallagat

$m_u - m_v \equiv$ színindex

$\uparrow$ színindex
= $(C.I.)_{uv}$

R_λ teljes reflexió



Q_λ

CCD

kvantum
hatás faktor

(foton szűrő hatás)

→ Színszűrőt meg kell adni m-méretű (a többi konstans)

$$m_{u,v,0} = -2.5 \log_{10} f + k_{uv,0}$$

$$m_A - m_B = (CI.)_{AB}$$

font. növekedése:

VEGA - minden színével 0 legyen a m.-ja

Nap látsz. magnitúdója: -27

absz. magnitúdó:

M = magnitúdó, ha 10 pc lenne távolság

$$m - M = -2.5 \log_{10} \left(\frac{f}{F} \right)$$

$$f \propto \frac{1}{d^2} \quad \left(\frac{1}{d^2} \frac{10^{10}}{1} \right)$$

$$m - M = -2.5 \log \left(\frac{10^{10}}{d} \right)^2 = -5 \log \frac{10^{10}}{d} = 5 \log \left(\frac{d}{10^{10}} \right) = 5 \log d - 5$$

$$10^{\frac{m-M+5}{5}} = d$$

távolság modulus egyenlet

absz. magnitúdóin a napnak

$$M_{\odot, V} = 4.83$$

Napmodell:

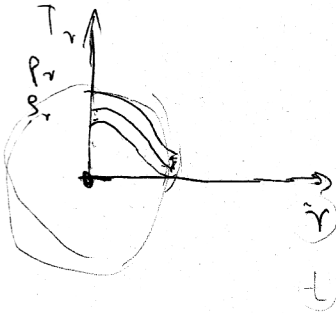
beliebiger elektrischer Prozess fiktional $\rightarrow$ Ladungsmodell

$\rightarrow$ laut 6a00 K

Leitfähigkeit:

- Gitterstruktur

10^{-5} porositäten



$\left. \begin{array}{l} \epsilon \\ -T \\ -X_i \end{array} \right\}$ minden enge negative (pl. negativ) $i=1, 2, 3, \dots$

$$P(\beta, T, x_i)$$

$$U(\beta, T, x_i)$$

energie süv.

$$S(\beta, T, x_i)$$

entropie süv.

härte süv. $\rightarrow$ $\lambda(\beta, T, x_i)$

$\rightarrow$ $E(\beta, T, x_i)$

emissivitäts, wenni hi leitfähig u. absorbiert

Termo 1.

$$T dS = d\left(\frac{U}{S}\right) - \frac{P}{S^2} dS$$

fluß $\rightarrow$ $\underline{F}$

$$ST \frac{dS}{dt} = SE - \text{div } \underline{F}$$

$\rightarrow$ ϵ
funkt.

$$\underline{F} = -\lambda \nabla T$$

Navier-Stokes

grav. potential

$$\frac{d^2 r}{dt^2} + \frac{1}{S} \nabla P + \nabla V = 0$$

$$\Delta V = 4\pi G S$$

$$\Delta V = 4\pi G S$$

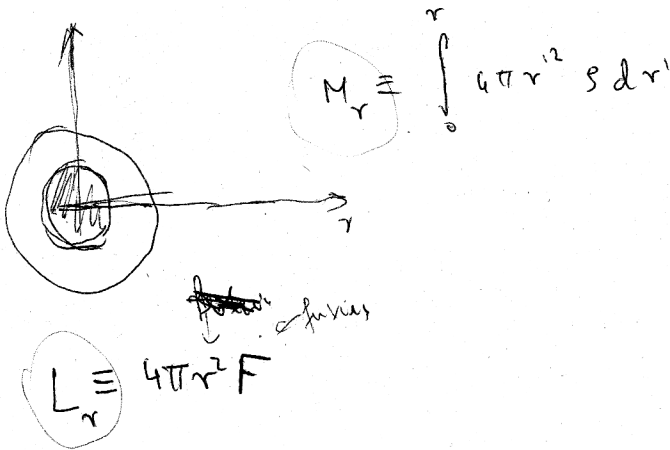
NS gömbiben

$$\rightarrow \frac{1}{s} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{d^2 r}{dt^2} = 0$$

$$\rightarrow \left(\frac{\partial v}{\partial r} \right) \text{ ~~gömb~~ } \quad \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial v}{\partial r} \right) = 4\pi G s$$

$$\rightarrow F = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

$$\rightarrow \frac{1}{s r^2} \left(\frac{\partial (r^2 F)}{\partial r} \right) = \epsilon - T \frac{ds}{dt}$$



$$(1) \quad \frac{1}{s} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{GM_r}{r^2} + \frac{d^2 r}{dt^2} = 0$$

$$(2) \quad \frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 s$$

$$(3) \quad \frac{dT}{dr} = - \frac{3k s L_r}{16\pi a c T^3 r^2}$$

$$\kappa = \frac{4acT^3}{3s} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

↑ s kg. konst. $\downarrow$ κ op

↑ radiatív opacitás coeff.

$$(4) \quad \frac{\partial L_r}{\partial r} = 4\pi r^2 s \left(\epsilon - T \frac{ds}{dt} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \rightarrow 4\pi r^2 \frac{\partial}{\partial M_r}$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial M_r} = - \frac{GM_r}{4\pi r^4} - \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \quad \text{Ezketlen}$$

$$\frac{\partial r}{\partial M_r} = \frac{1}{4\pi r^2 S}$$

$$\frac{\partial T}{\partial M_r} = - \frac{3\kappa L_r}{64\pi^2 a c T^3 r^4}$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}_r}{\partial M_r} = \mathcal{E} - T \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t} \quad \text{termo egyenlet}$$

Egyensúlyi helyzetet veszünk $\frac{\partial r}{\partial t} = 0$

termo
lokalis egyensúly: $\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial t}$

feltevések

$$\tau = 0 \quad \text{átlátszó}$$

$$M_r = 0 \quad L_r = 0$$

$$\text{Felszín: } M_e = M$$

$$B = 0$$

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$$

$\parallel$
F

Eddington: $T_{\text{eff}} = 2^{1/4} T_{\text{felszíni}}$

$$T_{\text{eff}} = \left(\frac{L}{4\pi R^2 \sigma} \right)^{1/4}$$

$$\rho_c, T_c, R, L$$

politrop

$$P = R \rho^{1 + \frac{1}{n}}$$

n - politropindex

$\uparrow$ $\uparrow$
nyomás sűrűség

$$P^n \sim \rho^{n+1}$$

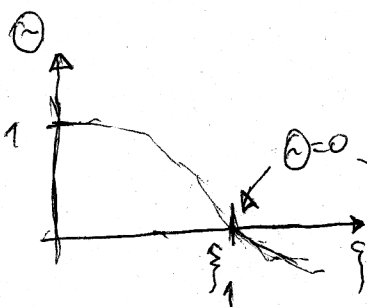
$$\rho = \rho_c \tilde{\rho}^n$$

$$P = P_c \tilde{\rho}^{n+1}$$

politrop hőm.

$$r = \alpha \xi$$

$$\tilde{\rho} = 1 \quad \left. \begin{array}{l} \frac{d\tilde{\rho}}{d\xi} = 0 \end{array} \right\} \xi = 0 - \text{ban}$$



$\tilde{\rho} = 0 \rightarrow$ elker mondunk, hogy a csillag felszíne

$$n = 0 \quad \tilde{\rho} = 1 - \frac{\xi^2}{6}$$

$$\xi_1 = \sqrt{6}$$

$\rightarrow$ ρ ~~számonkérhető~~
folyadék $\rightarrow$ Föld

$$n = 1 \quad \tilde{\rho} = \frac{\xi \sin \xi}{\xi}$$

$$\xi_1 = \pi$$

$$n = 5 \quad \tilde{\rho} = \left(1 + \frac{\xi^2}{3}\right)^{-1/2}$$

$$\xi_1 = \infty$$

$$n < 5 \Rightarrow \xi \text{ véges}$$

Érdekes eset (islla₂)

$$n = 1.5$$

Adiabaticus

$$n = 3$$

Ultrarelativisztikus

n	$\rho_c / \rho_{\text{ref}}$	ξ_1
1.5	5.98	3.65
54.48 3	54.18	6.50

$$P = P_g + P_r$$

gáz + sugárzás nyomása

$$P_g = \frac{\rho}{\mu H} ST$$

~~H tömeg~~ Hidrogén tömeg

$$P_r = \frac{a}{3} T^4$$

$$\frac{P_g}{P} = \beta \quad \text{const}$$

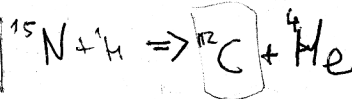
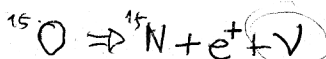
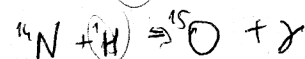
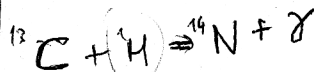
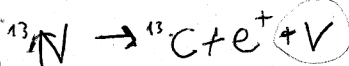
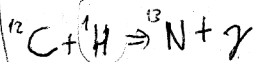
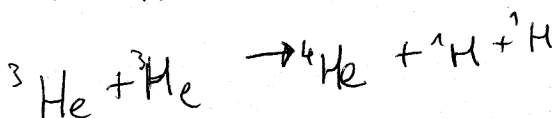
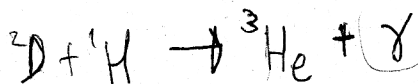
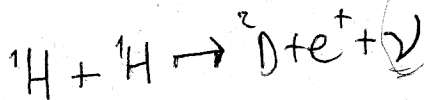
$$\frac{P_r}{P} = 1 - \beta$$

$$\frac{M}{M_\odot} = \frac{18.1}{\mu^2} \sqrt{\frac{1 - \beta}{\beta^2}}$$

$$\text{ha } M \text{ kicsi} \Rightarrow \beta \approx 1$$

$$\text{Nap esetén: } M = M_\odot \Rightarrow \beta = 0.9995$$

P-p Lánc



C-N-O lánc

(ha van sok C, akkor lehet ilyen)

$$\epsilon^{p-p} = 9 \cdot 10^{-37} (\text{m}^5 \text{K}^{-4} \text{eV}^{-1} \text{s}^{-2}) \left(\frac{1}{5} x^2 T^4 \right)$$

protonok tömeghatárolás

P-p lánc esetén

$$\epsilon^{\text{CNO}} = 3 \cdot 10^{-57} (-11-) \mu\text{s} \times \times \times T^{21}$$

alacsony hőm: P-p lánc szinte so

magshőm: CNO dominál

Napallandó

$$1370 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

napneutrók

$$L \sim M^{3.5}$$

akettóscsillag periódusidője
→ tömeg

közeleli parallaxis
módján

életidő $t \sim \frac{M}{L} \sim M^{-2.5}$

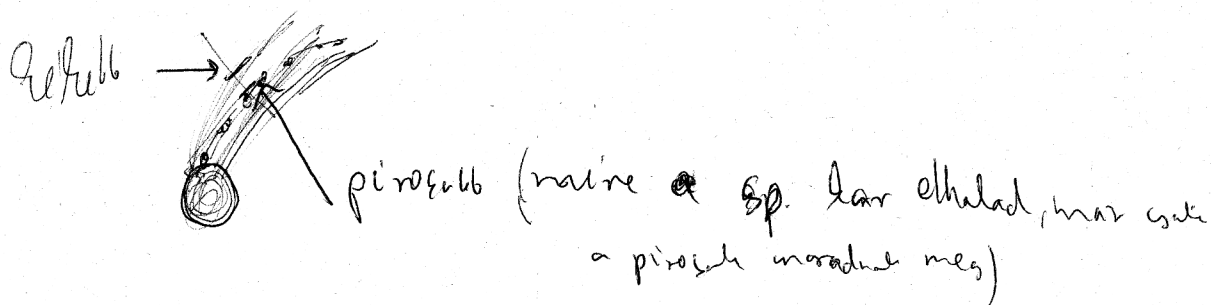
$L \leftarrow$ akettóscsillag fényessége

$\frac{M}{M_{\odot}}$	$\frac{L}{L_{\odot}}$	$t (10^6 \text{ év})$
25	80.000	3
15	10.000	15
3	60	500
1	1	10 000
0.5	0.03	200 000

8 század naptömeg — minimális tömeg egy csillagnak (született minél
fűzid)

1000 naptömeg — maximális (született egyből lehetett lyuk)

sűrűségi hullám a galaxis korongjában: összecsapódhat a gázfelhőkkel



cöllegi trégye

① SPIRAKAR

② szuperhíres rob.

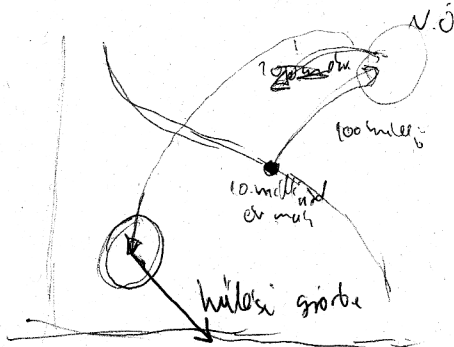
③ ~~Gal~~ galaxis elhalál ~~egymáshoz közeledik~~ → új galaxis (újra)
galaxis-ütközés
↓
horong

~~He~~

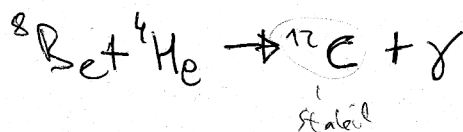
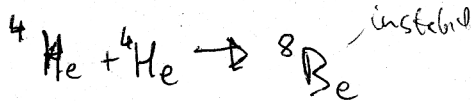
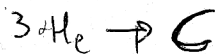
A mag He - felhígul → egy idő után megáll a $H + H \rightarrow He$

→ elkezd a mag ~~összezsomorodni~~ a baktériumok → felhígul ~ 100 millió

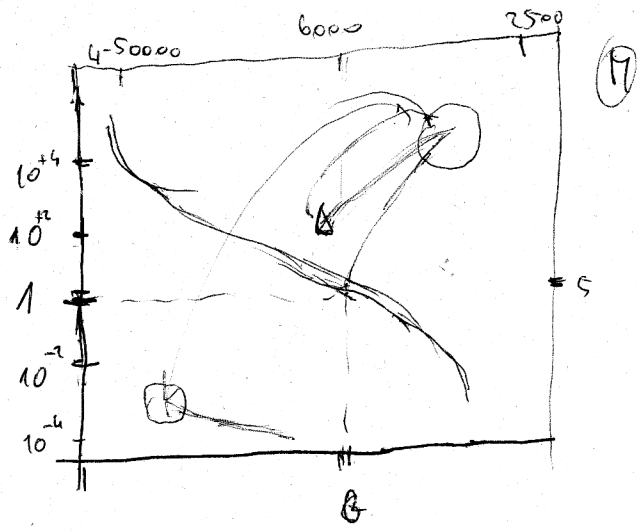
→ fotonok kinyomják a külső réteget → belül, ~~mag~~ → újabb órák



→ ~~100~~ 10^8 K He fűzős

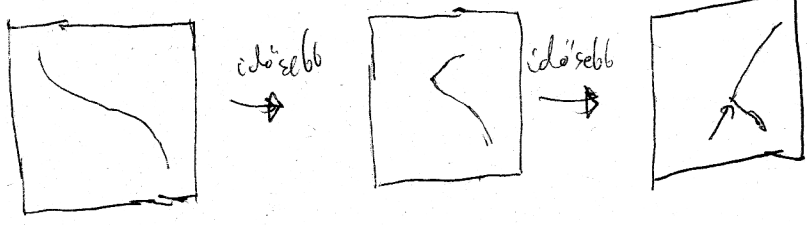


→ kifogy a He → elszáll a gáz → mag marad
vissza, ~~mag~~ → fekete törpe → belül

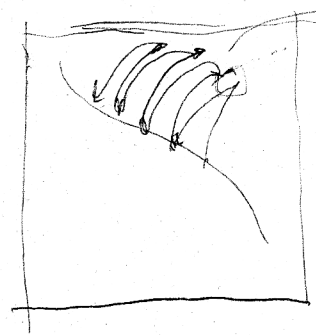


Eis tömeg $\equiv < 4M_{\odot}$

o ellátásai gömbökben



ha $60M_{\odot} > M > 4M_{\odot}$



Eis fűtése $\rightarrow$ végül Fe

$\rightarrow$ nagy nyomás $\rightarrow$ neutron

$\rightarrow$ relatív kicsiny határok

I. a. Szup. novae $\rightarrow$ színpadok is lehetnek

- Szup. novae robbanás - fotóval 1 nappal később jönnék ki, 95% lefutnak

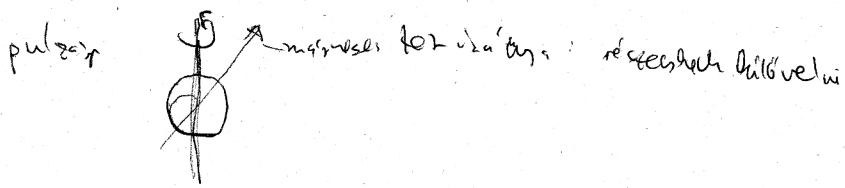
$\Rightarrow$ neutron csillag

$M > 60M_{\odot}$

$\Rightarrow$ seb > 10 m/s

lehetetlen

Neutroncsillag: pörög



fehértörpe: degenerált e^- gáz tart ellent a C magsnak
 $\rightarrow$ ha túlságosan sok van $\rightarrow$ fekete-bolygó

Chandra seker limit $1.4 M_{\odot}$ } fehértörpe tömege
 max energi

$\uparrow$
 ezde I.a. szupernóva

$\hookrightarrow$ kémmegerebb kékbonbóza, mint a I.a
 $\hookrightarrow$ szupernóva fókusz H II

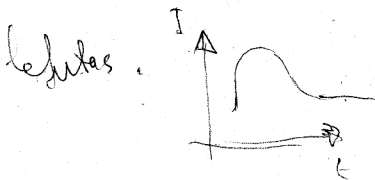
(Van még Ib, Ic)

fehértörpe

Vörös óriás

fehértörpe csap, átváltozik (fehértörpe a $14 M_{\odot}$)

I.a szupernóva $\rightarrow$ mielőtt kigyálgatna robban ~~fel~~ $\rightarrow$ meg tudom mondani, hogy milyen messze van



- protoplanetáris köd $\rightarrow$ köd + gázfelhőből lesz a nap (+bolygók)



- protokötet megmarad $\rightarrow$ bolygóképződés

(Föld 99%-a nap, Jupiter 95%-a bolygók)

Elliptikus felületű - azaz két fókusz van. A nap az egyik fókuszban van.

bolygók
pálya: kör vagy ellipszis (Föld kör, Jupiter ellipszis), keringési idő: 1 év

Jupiter - Barna törpe - fehér törpe

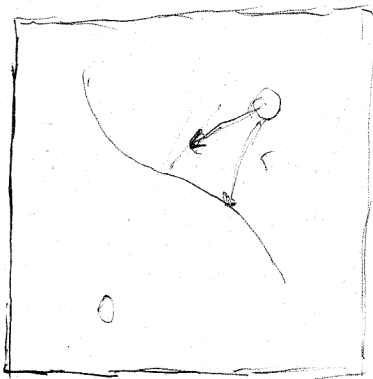
- elliptikus: Föld - Nap elliptikus (Föld keringési ideje 1 év)
Plutó ~ 24

- bolygók: saját tengely körül

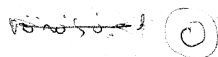
- leggyakrabban víz

- leggyakrabban az elliptikus pályán

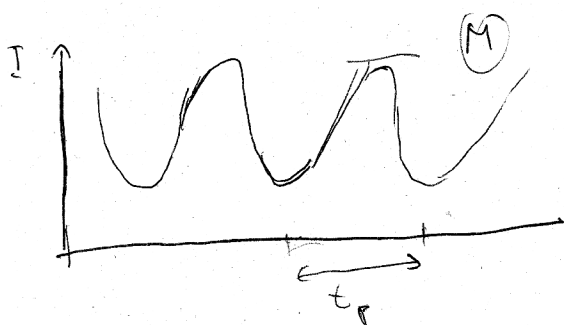
- ne legyenek ellipszis pályán



változó szíllag: befejezett a H, pulzál



stb. golyó: minden az ellipszoid formájában



$$t_p \rightarrow M$$

periódusából abszolút mags.

$$M - m = -2.5 \log_{10} \left(\frac{10}{d} \right)^2$$

$$m - M = -2.5 \log_{10} \frac{10}{d}$$

$$\frac{M - m}{5} = \frac{10}{d}$$

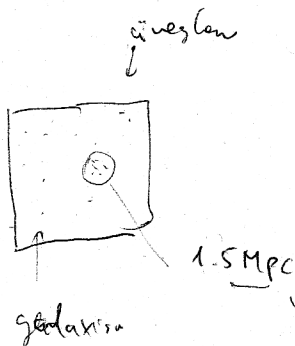
$$d = 10 \frac{m - M + 5}{5}$$

↑
lül
↓
↑
tudni távolát számolni

1958 Abell galaxi-halmaz katalógus

1955 PALOVer observatory sky survey P.O.S.S.

27126 galaxi-halmazt talált a felvételben



Ha 30 db galaxis van belül $\rightarrow$ galaxis-halmaz

$$n_g = 10^{-2} \frac{1}{\text{Mpc}^3} \quad \text{galaxis sűrűsége}$$

$$n_{cl} = 10^{-5} \frac{1}{\text{Mpc}^3} \quad \text{galaxis-halmaz s.}$$

$\uparrow$
gc

~~Gal~~ richness class: hány db galaxis? 30, 80, 120, ...

távozási sebesség: legkevesebb a 3 legfényesebbet: std proutgáncs velle,
ment a gal. halmazban ugyanolyan fényes a legfényesebb

4.26 s radiáns ρ_{500}^{gal} (átlagolt $1/3$ -a)

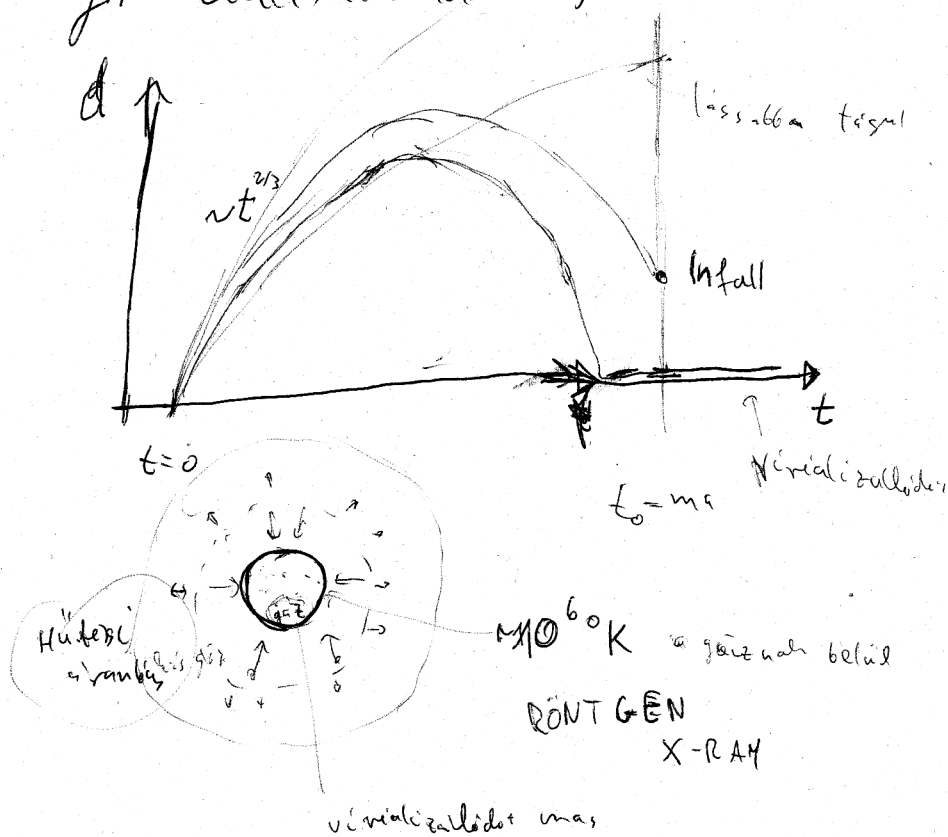
168 db $500 \leq n$

$\rightarrow$ Tejút: lokális csoport (kisebb gal. halmaz) : Tejút, Andromeda

(G700db) 1968 Zwicky gal. halmaz kontingens

1968-as évek: E.S.O Chilei Obszervatórium (Chile)

- gh. kialakulásának ideje ~ univerzum életkora



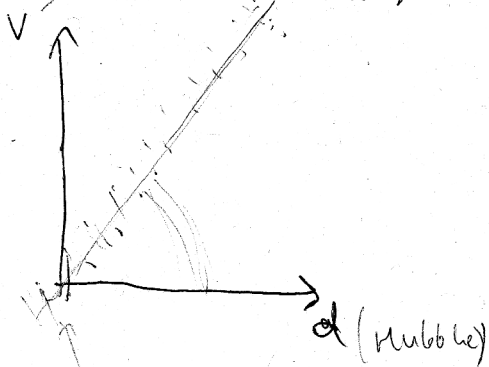
nagy röntgen sugárzás
A halmaz tömegének fele a közepes gáz

Eretele 1-10 $M_{\odot}$ gáz ~~halmaz~~ tünt el a forrás felől

Sűrűségről befutó áramlani látnivaló $\rightarrow$ hűtési áramlások

VESTO SLIPHER

tevékenységi sebesség v. ellátási kör



$$\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0$$

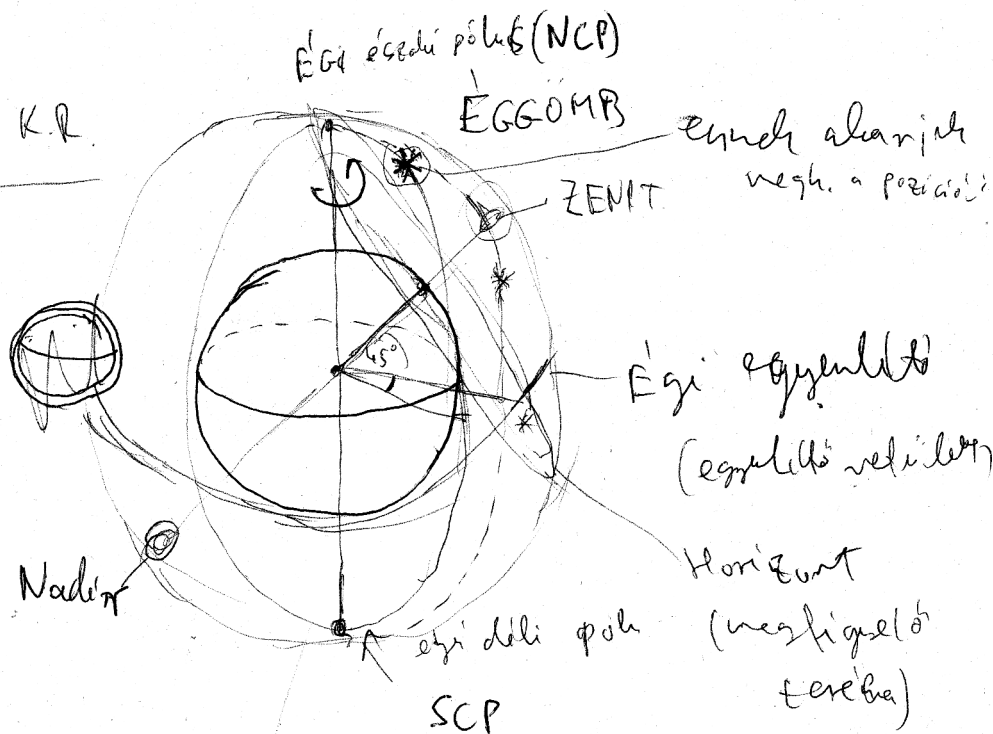
$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

$$v = H \cdot d$$

$$H \approx 71 \left[\frac{\text{km}}{\text{s}} \frac{1}{\text{Mpc}} \right]$$

Dec 4. péntek $14^{\circ} - 15^{\circ}$ óra

Elevatorialis K.R.

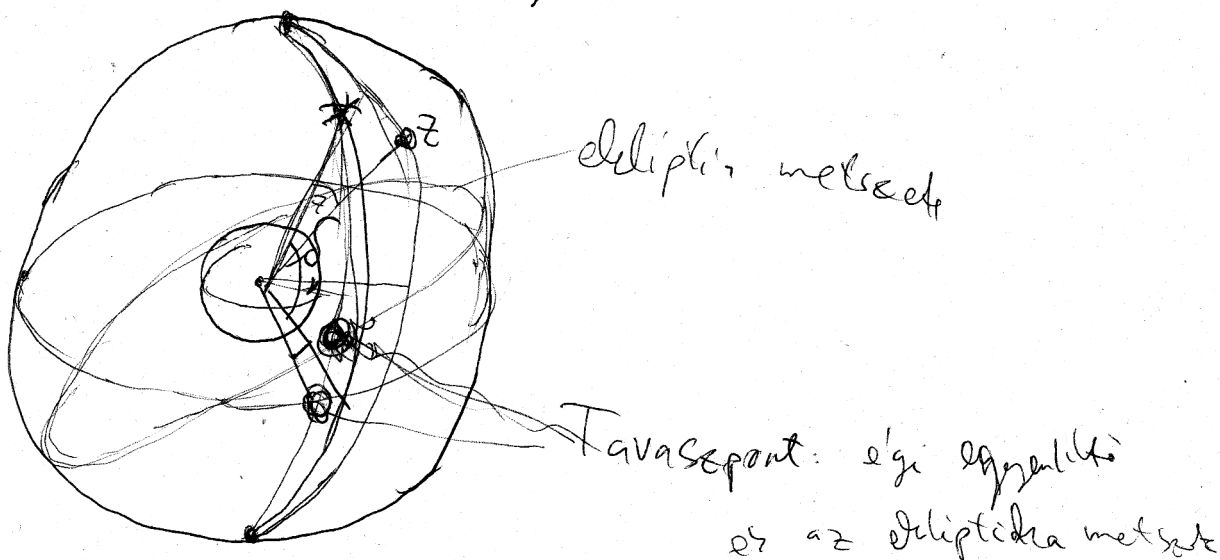


örök : csillag, SCP, NCP : örök

① örök

- NCP, Zenit, SCP : meridián

örök és meridián kötések



• ekliptika : F asztrófi sávja

márc. 21. én itt lefelé a Nap

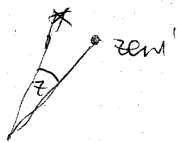
① Relatív szélvénz

(R.A.) $15^{\circ} \rightarrow 1h$

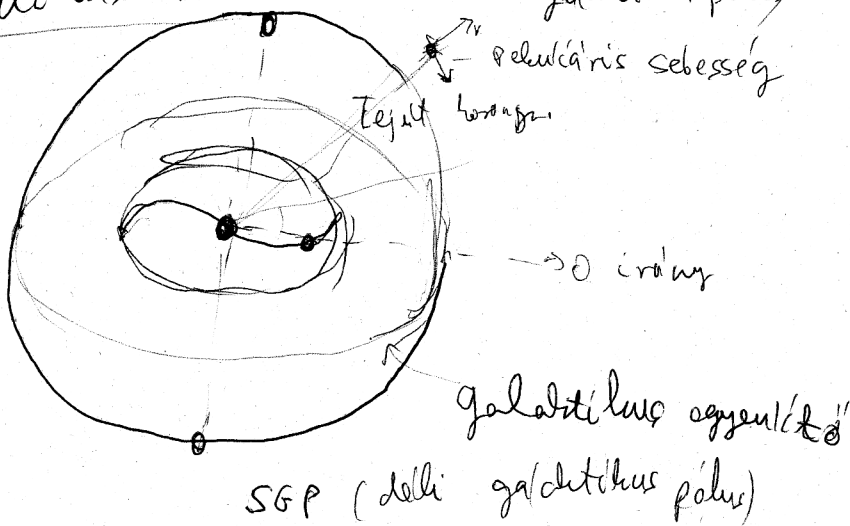
$\angle$: Tavaszp és a örök + egy metszpont

② deklináció: δ : egy egyenlítő felület mélyénél van

zenítávolság: zenit és csillag közötti szög: z



Galaktikus K.R. NGP (északi galaktikus pólus)



① galaktikus szélesség: b

b

② galaktikus hosszúság: l

$l=0^\circ$
 $b=0^\circ$ galaxis magja

ez $(\alpha, \delta) = (17^h 45^m, +28^\circ 56')$ - nek felel meg

- EPOCH - melyik évben készült (Férfi precesszió, NR gravitáció, galaxis központi stb.)

Luni-solar precessió

25800 év (Föld precessiója)

csillag mozgása ^{elintó irány} hat sebessége

BARBARO'S star ~~25800~~ 25 év

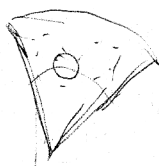
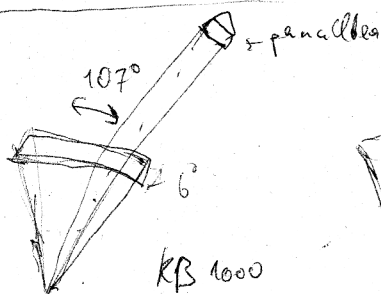
legnagyobb
elmozdulás

0.55" évenként

1.8 pc -re van

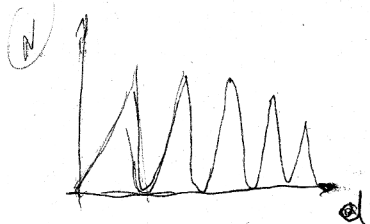
CFA

1980



Pencil
Beam

1990



S.D.S.S

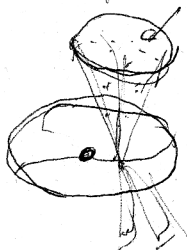
2005

Sloan Digital Sky Survey

S

10^6 galaxis pozíciója

141 steradian



$\sim 60^\circ$ átl. elmozdulás nagysága

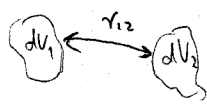
- távolság lehet $\sim 10^4$ lyk lehet a közeli galaktikus felhő

- összes lehetett kicsit a delfi felhőben vizsgálódni

2 pont korrelációs Fv.

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

↑
 pontpontos sűrűség
 ↑
 galaxis
 sűrűség
 ↑
 kétpont korrelációs fv.



ha $\xi=0 \Rightarrow$ nincs korreláció

ha szeretnénk r_{12} távra lenni $\delta\rho_{nagy} \Rightarrow \xi > 0$

ha nem szeretnénk $\xi < 0$

$$-1 \leq \xi \leq +1$$

$$\xi(r) = \frac{\langle \delta(x) \delta(x+r) \rangle}{\langle \delta^2 \rangle} - 1$$

1 galaxis tömege
 $M_G \cdot \bar{n} = \rho$
 $\rho = \text{sűrűség}$

$$\frac{\langle \delta(x) \delta(x+r) \rangle}{M_G} = (\xi + 1) \bar{n}^2$$

$$\delta(x) = \frac{\rho(x) - \bar{\rho}}{\bar{\rho}}$$

$$\delta = \frac{\rho(x) - \langle \rho \rangle}{\langle \rho \rangle} = \frac{\delta \rho}{\langle \rho \rangle}$$

$$\delta(x) = \sum_{\mathbf{q}} \delta_{\mathbf{q}} e^{-i\mathbf{q} \cdot \mathbf{x}}$$

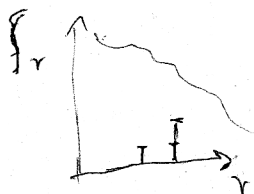
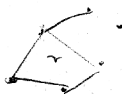
$$\delta_{\mathbf{q}} = \frac{1}{V} \int \delta(x) e^{i\mathbf{q} \cdot \mathbf{x}} d^3x$$

$$\langle \delta(x) \delta(x+r) \rangle = \frac{1}{V} \int d^3x \sum_{\mathbf{q}, \mathbf{q}'} \delta_{\mathbf{q}} \delta_{\mathbf{q}'} e^{-i\mathbf{q} \cdot \mathbf{x}} e^{-i\mathbf{q}' \cdot (\mathbf{x} + \mathbf{r})} = \left(\frac{1}{V} \int d^3x e^{-i(\mathbf{q} + \mathbf{q}') \cdot \mathbf{x}} \right) \sum_{\mathbf{q}, \mathbf{q}'} \delta_{\mathbf{q}} \delta_{\mathbf{q}'} e^{-i\mathbf{q}' \cdot \mathbf{r}}$$

$$= \sum_{\mathbf{q}} \delta_{\mathbf{q}}^2 e^{-i\mathbf{q} \cdot \mathbf{r}}$$

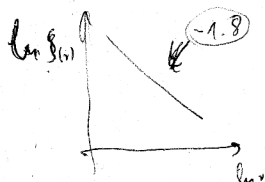
$$\xi = \sum_k \frac{\delta(k)}{k} e^{-ikr}$$

$\downarrow$
 $|\delta_k|^2$



$$\xi(r) = \left(\frac{r_0}{r}\right)^\gamma$$

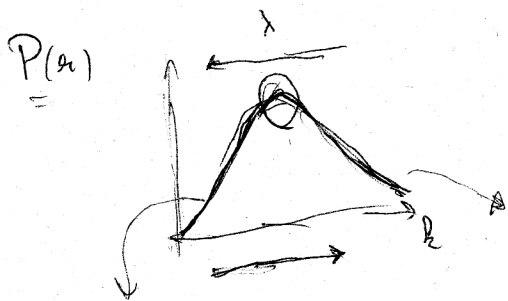
$$\gamma = 1.8$$



- elliptikus galaxis több van halmozatok, sűrű helyeken (több ütközés, elvezeték karrierben)

$$Ell = 2.0$$

$$Spiral = 1.6$$



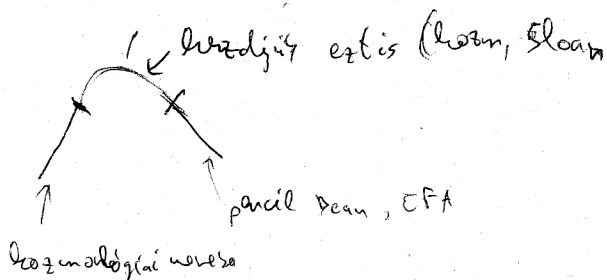
galaxis mintavételkor $g \times$ mérettel kisebb nem lehet

nagy hullámhossz

nem volt elég idő

eltérő struktúrák kialakításához

megkötés az ezt kettős



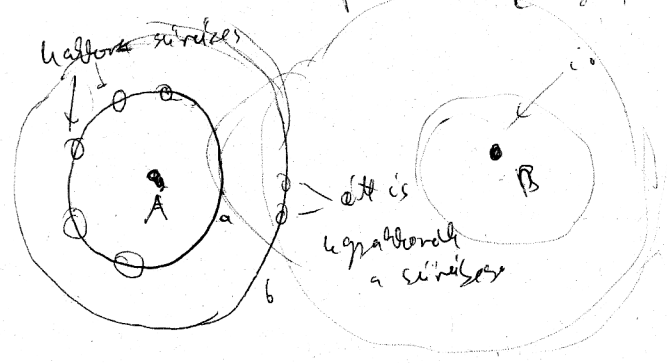
- kozmológiai elv:

univerzum homogén, izotróp

kopernikusi: $\forall$ pontból ~~nézve~~ homogén, izotróp $\Rightarrow$ homogén is

izotróp kopernikusz $\Rightarrow$ homogén

$\Rightarrow$ homogén



$\nRightarrow$ homogén $\nRightarrow$ izotróp, ha különböző irányokban más-más társul



homogén, izotróp $\Rightarrow$ lineáris sebességmező

$$V_i = C_{ij}(t) x_j$$

han minden C engedhető meg

ha pl: $C = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 \\ 0.1 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow$ ez nem homogén

szimmetrikus $C = \begin{pmatrix} 0 & 0.3 \\ 0.3 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow$ nem izotróp

$$C_{ij} = S_{ij} + A_{ij}$$

rotáció, nem lehet

szimmetrikusnak kell lennie

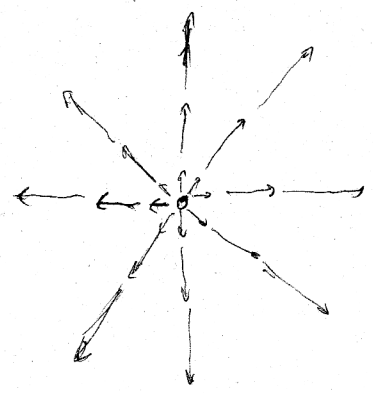
$$V_i = S_{ij}(t) x_j \quad S_{ij} = S_{ji}$$

S_{ij} -t diagonalizálhatom

izotropia miatt: $S_{ij} = S(t) \delta_{ij}$

$\Rightarrow$ univerzum vagy tágul, vagy szűkül

$$V_i = S(t) x_i$$



Cont. eqn:

Euler eqn:

elmszozda

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \mathbf{v}) = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = \frac{1}{\rho} \mathbf{f} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p$$

$$\partial_t \rho + \partial_i (\rho v_i) = 0$$

$$\partial_t v_i + v_k \partial_k v_i = -\partial_i \mu \quad \leftarrow \text{grav potential}$$

Laplace - Poisson - egyenlet:

$$\partial_i \partial_i \mu = 4\pi G \rho$$

$$v_i = S(t) x_i$$

$$(1) \quad \Downarrow \quad 3S = -\frac{\dot{S}}{S} \quad (2) \quad 3(\dot{S} + S^2) = -4\pi G \rho$$

$$\frac{\dot{S}}{S} = (\ln S)$$

$$3\dot{S} + 3S^2 = -4\pi G \rho$$

$$3\dot{S} = -4\pi G \rho - 3S^2$$

$$-3\dot{S} = \frac{d}{dt^2} (\ln S)$$

$$3 \frac{d^2}{dt^2} \ln S = 4\pi G \rho + 3S^2$$

$\Rightarrow$ ha van anyag, univerzum nem lehet statikus

$$13^{30} - 15^{30}$$

$$\hat{E} \cdot 1.71$$

$$S \rightarrow R \quad S = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)}$$

$$\int S(t) dt = \ln \left(\frac{R}{R_0} \right)$$

$$R(t) = R_0 \exp \int_{t_0}^t S(s) ds$$

$$V_i = S(t) x_i = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} \cdot x_i$$

const: (1) $\dot{S} + 3 \frac{R}{R} S = 0$

(2) $\frac{\dot{S}}{S} + 3 \frac{\dot{R}}{R} = 0$

$$\ln S + 3 \ln R = \text{const} \rightarrow \ln(S R^3) = \text{const}$$

$$\ln\left(\frac{4\pi}{3} S R^3\right) = \text{const}$$

$$\frac{4\pi R^3}{3} S = M = \text{const}$$

$$\dot{S} + S^2 = -\frac{4\pi}{3} G S$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\dot{R}}{R} \right) + \frac{\dot{R}^2}{R^2} = \frac{\ddot{R} R - \dot{R}^2}{R^2} + \frac{\dot{R}^2}{R^2} = \frac{\ddot{R}}{R} = -\frac{4\pi}{3} G S$$

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi R}{3} G S = -\frac{M G}{R^2}$$

$$\ddot{R} R + \frac{M G R}{R^2} = 0$$

$$\frac{1}{2} \dot{R}^2 - \frac{G M}{R} = \text{const} = E$$

Friedmann - equation

$$\dot{R}^2 - \frac{8\pi G S}{3} R^2 = E$$

$$\dot{R}^2 - \frac{8\pi G S}{3} R^2 = E$$

$$\left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 - \frac{8\pi G S}{3} = \frac{E}{R^2}$$

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 - \frac{8\pi G}{3} S = -\frac{E}{a^2}$$

geometrisch

alt. rel. bol

$$a = \frac{R}{R_0}$$

$$a_0 = 1$$

max. id. pill. und 604

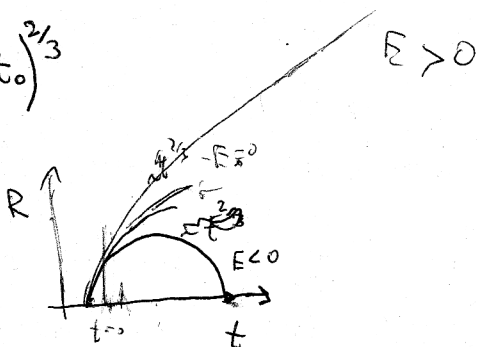
$$(1) E=0$$

$$\frac{dR}{dt} = \sqrt{E + \frac{1}{R}}$$

$$dt = \frac{1}{\sqrt{E + \frac{1}{R}}} dR$$

$$R = \left(\frac{9}{2} GM \right)^{1/3} (t - t_0)^{2/3}$$

$$E=0 \Rightarrow R \sim t^{2/3}$$



$$E > 0$$

$$R = \frac{GM}{2E} (\cosh \mathcal{T} - 1)$$

$$t - t_0 = \frac{GM}{(2E)^{3/2}} (\sinh \mathcal{T} - \mathcal{T})$$

$$E < 0$$

$$R = \frac{GM}{2|E|} (1 - \cos \mathcal{T})$$

$$t - t_0 = \frac{GM}{(2|E|)^{3/2}} (\mathcal{T} - \sin \mathcal{T})$$

$$V_i = \dot{x}_i$$

$$V = H \dot{a}$$

$$\frac{1}{2} \dot{R}^2 - \frac{GM}{R} = E$$

$$\frac{1}{2} \dot{R}^2 - \frac{4\pi G \rho}{3} R^2 = E \Rightarrow$$

$$\frac{4\pi G}{3} R^2 \left[\frac{3}{8\pi G} \left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 - \rho \right] = E$$

$$\frac{4\pi G}{3} R^2 \left[\rho_{crit} - \rho \right] = E$$

$$S_{\text{crit}} = \frac{3}{8\pi G} \left(\frac{c}{R}\right)^2 = \frac{3H^2}{8\pi G} \approx \underline{10^{16} \text{ H atom m}^3}$$

$F > 0$	$S < S_c$	$\Omega < 1$	$q = -1$
$F = 0$	$S = S_c$	$\Omega = 1$	$q = 0$
$F < 0$	$S > S_c$	$\Omega > 1$	$q = +1$

↓
- energi sűrűség lecsökken van
- anyag sűrűség emelkedik

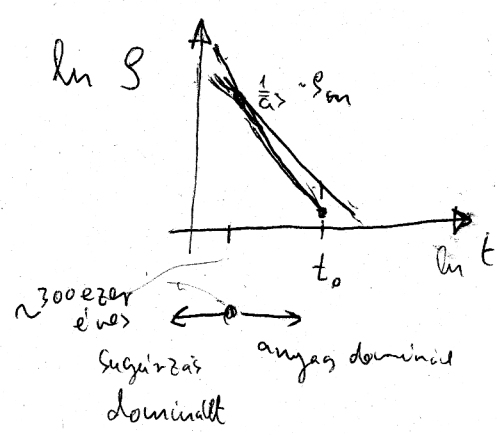
$$\Omega = \frac{S}{S_c}$$

$$S_{\text{anyag}} \sim \frac{1}{a^3}$$

$$S_{\text{szug.}} \sim \frac{1}{a^4}$$

↑ foton energiája csökken ha térfogat $\frac{1}{a^3}$ -al

$$S_{\text{foton}} \sim \frac{S_{\text{anyag}}}{1000} \text{ ma}$$



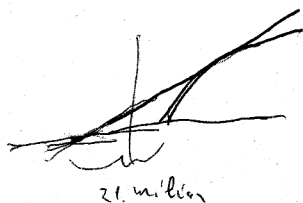
Sug. domináns korábbi: Friedman egyenlet ma

$$\sim t^{1/2}$$

13.7 milliárd eV → viszonylagos H-ból ma részecskéből



$$\frac{1}{H} = T_H - \text{Hubble } eV \sim 21 \text{ miliard } eV$$



E_T	$T(K)$	a	t	
1 GeV	10^{13}	$2 \cdot 10^{-13}$	$10^{-6} s$	25% 25%
1 MeV	10^{10}	$2 \cdot 10^{-10}$	1 s	→ H ₂ He nagy 1% He
1 keV	10^7	$2 \cdot 10^{-7}$	22 ms	
1 eV	10^4	$2 \cdot 10^{-4}$	60 000 eV	→ rekombináció (p ⁺ e ⁻ összecsapód → H atom)
1 meV	2.7 K	1	$13.7 \cdot 10^9 eV$	↑

- primordiális nukleoszintézis

→ neut 380 ezer eV

- fotonde rekombináció előtt szóródott töltött részecskékre

- utána resemlegesedés nem → fotont nem kényszerít → legutoljára

- rekomb.-nál $3000^\circ K$, ekkor $10^{-3} = a \Rightarrow$ univerzum 1000-szerese

folgal $\Rightarrow$ jósolt $3000 K / 1000 \approx 3 K$ -es kozmikus mikrohullámú

külsősugárzás Penzias, Wilson

3. Iratok és alappillérei:

1. Hubble-teljesítés $v = Hd$

2. Külsősugárzás

3. Könyvi elemek előfordulási gyakorisága

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_{krit}}$$

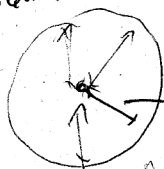
$$\rho \sim \frac{1}{a^3} \text{ anyag} \rightarrow t^{2/3}$$

$$\rho_r \sim \frac{1}{a^4} \leftarrow \text{sugárzás} \rightarrow t^{1/2} \text{ -es tárgyalás}$$

$$t_{Pl} = 10^{-42} \text{ s} \quad \text{Planck idő}$$

Problémák:

① Horizontprobléma:



21 milliárd fényévnyi sugárú gömb

↑ horizont (ett láthatjuk)

1965 Penzias és Wilson, 5 jegyre

hátulrsugárzás T-je ugyanahol van a horizont határáról

② Struktur

Az eigen: $\frac{\Delta T}{T} = 10^{-5}$



$\frac{\Delta \rho}{\rho} = 10^{-5}$ anyag fluktuáció a keletkezéskor

Sűrűség ingadozás

← húzó más a vöröseltolódás

COBE - 1990

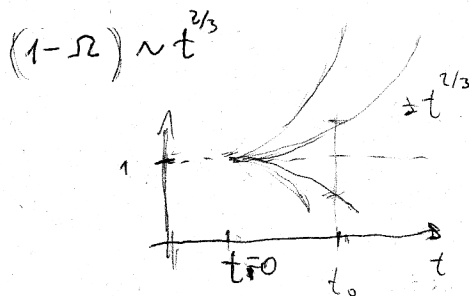
feladat: T megmérése

mai galaxiseloszlásból $\rightarrow \frac{\Delta \rho}{\rho}$ megmérés $\approx 10^{-5}$
biztos.

$\frac{\Delta \rho}{\rho}$ van mindenkül

- ~~meg~~ legkisebb térfogatok mellett nem nulla $\frac{\Delta \rho}{\rho}$?
- nagy térfogatok mellett nem sokkal nagyobb?

(3) Főmunkák



ma tudjuk

$$2/3 \Omega > 1/2$$

Ha $t=15$ -nél $\Omega < 0.99$ lett volna $\Rightarrow$ nem lenne struktúra (szorok térfogat)

$t=15$ -nél $\Omega > 1.1$ $\Rightarrow$ összehúzódott volna (20 percen belül visszahúzódnak)

$$\frac{d^2}{dt^2}(\ln \rho) = 3\Omega^2 + 4\pi G \rho$$

$\nabla^2 U + \lambda = 4\pi G \rho$ Hozzáadódik a lényeg

legyen: $\rho = M \delta(x)$

gömbökben

$$\frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} (rU) = -\lambda \quad \lambda \neq 0$$

$$-r\lambda = (ru)''$$

$$(ru)' = -\frac{1}{2}\lambda r^3 + A$$

$$ru = -\frac{1}{6}\lambda r^3 + Ar + B$$

$$u = -\frac{1}{6}\lambda r^2 + A + \frac{B}{r}$$

$$F = -u' = \frac{B}{r^2} + \frac{1}{3}\lambda r = -\frac{GM}{r^2} + \frac{\lambda}{3}r$$

$\uparrow$ von Neumann $\uparrow$ Casimir

- lehet hogy stabilizáló szétválasztó univerzumot is de instabil

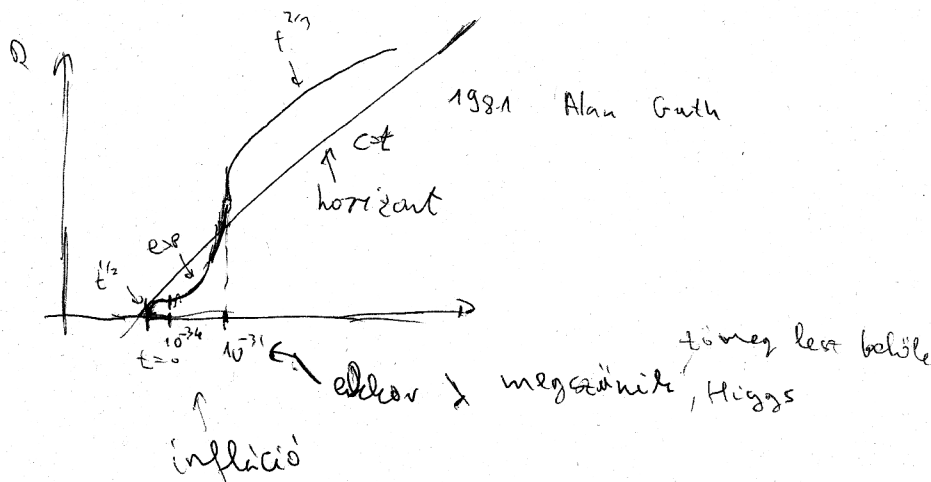
$$u = -\frac{1}{6}\lambda r^2 + \frac{GM}{r}$$

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{E_0}{R^2} + \frac{\lambda}{3} \quad \leftarrow \text{ha ezt beírjuk a fázisegyenletbe}$$

ha nagy az R és van λ

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{\lambda}{3} \equiv \frac{\dot{R}}{R} = H_\lambda$$

$$R = R_1 e^{H_\lambda(t-t_1)}$$



- horizontális portál és kapcsolatokban való

- struktúra : infláció de jó nagy arányú elvárások
 → infláció végén sok nagyságrenddel nagyobb lesz

- finomhangolás

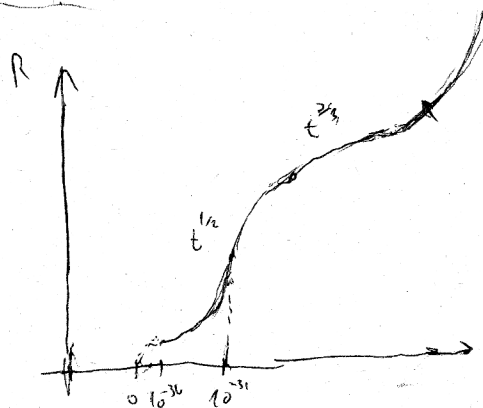
infláció előtt görbület nem nulla volt → infláció görbület arányos
 ($\Omega \approx 1$)

hidro megközelítés:

$$z+1 = E = 1$$

↑ ↑
 potenciális kinetikus
 → energia + tömegzet (kin., potenciális, tömegzet)
 $-1002 + 1001 = 1$

↑
 energiák helyettesítése 1-hez közel



HA szupernóva $V = Hd$

H távolsággal mérve → infláció

gyorsuló távol az univerzum, λ fázistolás → götét energia