

Bevézetés az astrofizikába

- Előadó: Frei Zoltán
 - Honlap: frei-zolt.net / teaching
 - ↑
 - tematika
 - Vizsga: hasbeli (viszaidóraik elején, egyptetés miatt)
 - E-mail: 3.86@zolt.net, *6317 Helefon
 - "Fogadóra": kedd 10-12
- Térített iratalom:
The Physical Universe
Univers
Astronomy
Inflation's cosmology
(Bothlos, Frei)
Physical cosmology

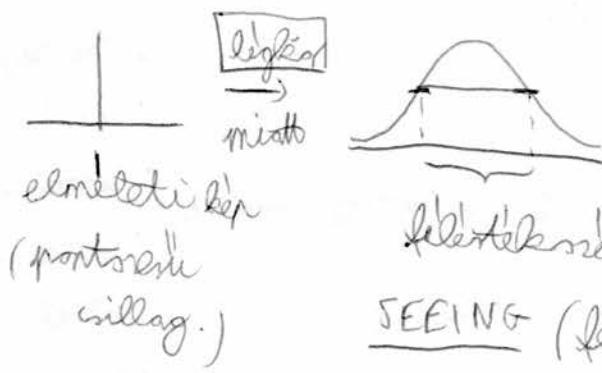
1. óra

1. (Világkörzet fejlődése:

- a) - Galileo Galilei: elölről → bolygók (Jupiter holdjai, Szaturnusz)
- Newton ~~tw.~~ → Kepler tw.-ek
- Méniér: nebulák megfigyelése M1 - M109 (halvány kiterjedt galaxisok v. távoli galaxisok?)
 - ↳ 1920: Shapley - Curtis "debate" (vita) cílgárok a legtávolabb halvány kiterjedt objektumok
 - ↳ 1923: E. Hubble → Andromeda-távolsgáronak megmérésével a nebulák távoli galaxisok
- Mire kell nagy távolság?
 - NEM a felbontás miatt! $\leftarrow \frac{\lambda}{D}$ (diffúnsion limitált felbontás)
 - hanem a fényesség miatt → nem érvényes, mert a legtöbb legtávolabb 1 magyarrendszerrel rosszabb felbontást enged csak meg több foton jut be

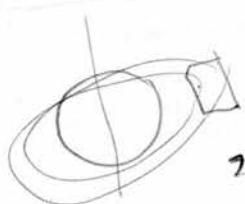
Hawaii: 1¹" (szögmp) körül a felbontás ^{bz} (1,15¹" széddigi legjobb)
 felbontás: az a távolság, amilyen távoli 2 csillagot
 2 különböző objektumnak látunk.

cillag sépe:



= minél jobb távosság, annál jobb megfigyelés → a csillagsorak felbőkése is alapvetően ekkor függ

- Minél távolabb van egy objektum, időben annál korábban megfigyelhető
 - 13,7 mrd lre: Androméda galaxis
 - Tejút mérete: 100 000 fénymérő
 - Androméda gal.: 2 millió fénymérő
 - Hubble-távolság (1923) → Hubble deep field
 - teljes részét tüntet (z. V, z. infra, z. egyéb formák nem látszik)



allando, megnövekedés nélküli

225 dbig figyeltek meg

galaxisok, 12 mrd fénymérő távolságra
 (3000 db) → jelentősen nincs többük nincs időben

Galilei: 10 cm -es lencse → ma: 10 m -es tükörök

b) - Távolsági probléma a legközel: az EM sugárás nagy részét elnyeli
(pl. RTG, p-neg.)

↓
"ittávcsökkenés kell éppeni" → "interchémia" is kell

• Doppler - effektus = vörösebbel több:

ami messzebb van, gyorsabban haladik →

→ a Doppler effektus miatt a távoli objektumok

színe IR (infra) tarkományba haladik

↓
James - Webb téleszkóp (ST: space telescope): infrában fog néni
távcsökkenések,

→ interchémia, számítástechnika kell a villásgázhoz

c) Számítástechnika az antropozikában:

- nem tudom manipulálni a körülöttben megfigyelt objektumok
antropozikában

- egyszerű lehetségek: több adatot gyűjti fel, részletebb

1980 - 90 -es évektől CCD kamera → számítógépes adatfeldolgozás

2004 - 2005: 1 millió galaxis távolságának meghatározása

100 ~11 ~ 10 kpc

Távolságmeasures a csillagászatban

1) Egységek:

- cíllagászati egység: AU (astronomical unit)
= 1 év alatt megtett lélegzetű föld - Nap távolság $\approx 150 \cdot 10^6$ km

$$1 \text{ AU} \approx 150 \text{ millió km}$$

\Rightarrow könnyen számoltatható keringési ideje a Napról bolygóikhoz

$$5 \text{ AU} \rightarrow 5^3 = 125 \quad \frac{1^3 \text{ AU}^3}{125 \text{ AU}^3} = \frac{1^2 \text{ év}^2}{x^2 \text{ év}^2} \quad x =$$

- parsec: az a távolság, amelyen tükörből ~~CSFI~~ 1 AU (pc) $1''$ (millimér) lenne eltolék

$$206 265 \text{ AU} = 1 \text{ pc}$$

$$1 \text{ AU} \xleftarrow{\text{---}} \xrightarrow{\text{---}} 1'' \\ 1 \text{ pc}$$

$1.3 \text{ pc} =$ a legközelebbi csillag távolsága

$1.3 \text{ pc} = 4 \text{ ly}$ (light year)

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ ly} \text{ (fénymér)}$$

- galaxis mérete: kiloparses ($1 \text{ kpc} = 10^3 \text{ pc}$)
- galaxis távolsága: $1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc}$
(megaparses)
- (Tejut: $20-25 \text{ kpc}$)
- Androméda: $600-700 \text{ kpc}$
- távolsága
- tükörök maximuma $\sim 1000 \text{ Mpc}$ -ig pontos

$$[\frac{\text{km}}{\text{s}}] = \left[\frac{1}{5} \right] \cdot [\text{km}]$$

$$v = H \cdot d$$

$$H = 71 \pm 2 \quad \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{Mpc}}$$

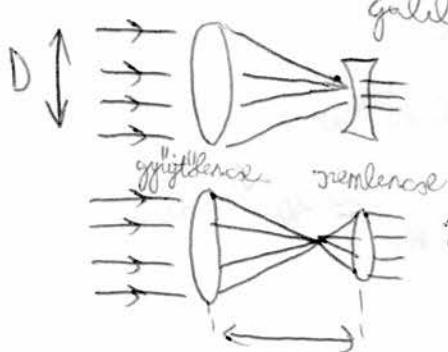
↑
(ez a legrosszabb felmérés)

2. rész

Megfigyelési módserek

I. Optikai tárcaövek:

1) Lencses (refraktor):



galilei - problémák:

$$+ f/D \geq 15$$

!!

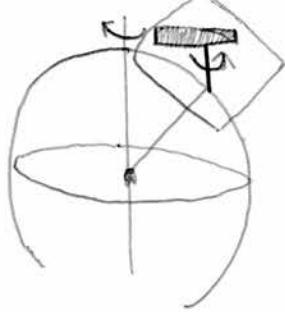
nagyon hosszú a távcső,
nehet használni

+ magát a lencset is nehet ötni
(max. 1m átmérőjű lencsék gyártanak)

+ nehet befogatni (a lencse a peremén a legtökékenyebb)

+ ekvatorialis felügyelet (Föld kör rögz.)

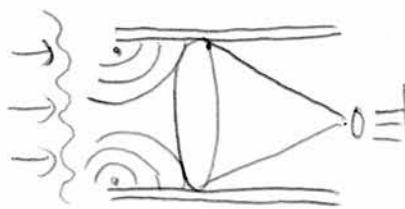
ha 1 csillagot akarunk felügyelettel, a Föld forgását ki kell kompenzálni → ezen egy tengely köül foghatók a távcsövek
egy tranzícióval, DE illerően a tengelyek a Föld tengelyével II-an
kell illnia



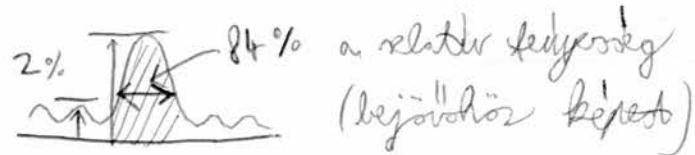
pl. "Yerkes" observatorium

- 103 cm átmérőjű lencsés távcső (válogatás + legnagyobb)
- a tubus mezt miatt akkoran kipróbált írástettek körkörök, miatt a Szent Péter katedrálisról

- optikai hibák:



- tiny korong alakul ki



Seeing

$\sim 2''$



pl.

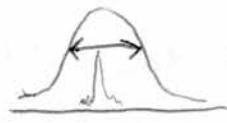
felbontás (feltekerelenség):

$$\alpha = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

radian

$5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

$\approx 10^{-6} \text{ radian}$



\downarrow
 $\sim 0,1''$ felbontás, de

a légtör miatt $\sim 1''$ -t lehet csökkeníteni

Rayleigh-féle fel. (felbontás):

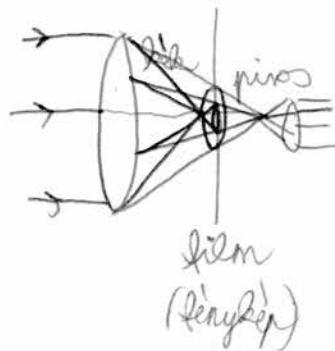


ez \sim a feltekerelenség

szabad általános tiny-ellajl. fel.

ha az egyik objektum csúcsa oda esik, akkor a másik előbb minimuma (magassával), meg lehet különöztetni a két objektumot

• színhiba:



→ nincs körüljáró kör abakul ki a pont helyett a filmen

de ezt lehet korrigálni:

→ akromat

→ apokromat



2 zónára vonatkozóan

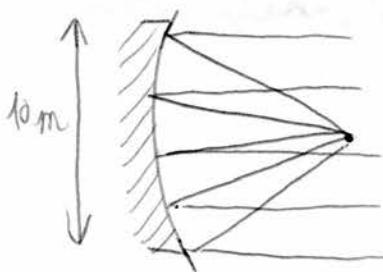
3 zónára

- II-

400 700 λ (nm)

• geometriai hiba

2) Tükös tüvök



- parabolikus látásban

• $\frac{\lambda}{10}$ pontosság felületen kell a pontos leképezéshez

(pl. 500 nm-es fény → 50 nm-es pontosság)

- elérhető a 10 m nagyságú is

- megoldott problémák

• F_D kicsi

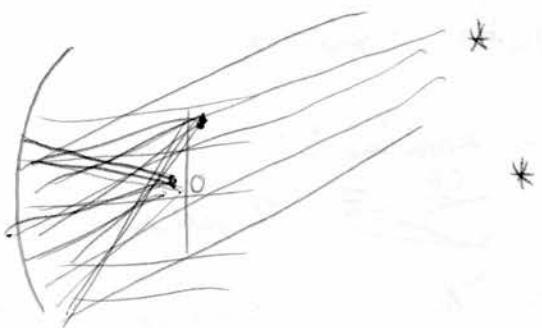
= mechanikai problémák megoldatai

• nincsen geometriai hiba

• nincsen kromatikus aberráció (színhiba), mert viszonylagosan rövid van (ami nem hullámhosszfüggő)

- lufjáta hibák:

- koma



(paraxiális fókusz elteker)

ha nem axialis irányba jön a fény, nem tökéletes a parabola a bejáró lencse nem pontjából

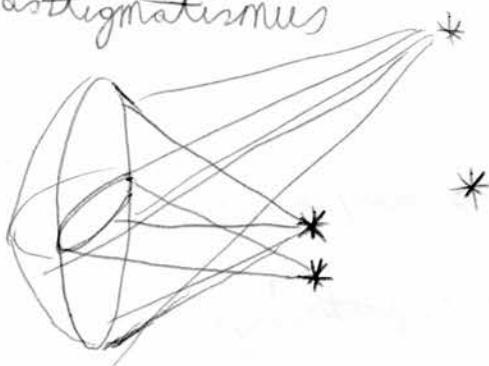


elnyújtott kép (ütközőszemű lóra)

(minél távolabb van a tengelytől, annál jobban elnyúlik)

elnyújtás)

- astigmatismus



ha térfelén nem lőjük a dolgot, a másik tengely is rövidít

→ kijobb elmosódás

- hogyan néz ki a viszonylag kevés?



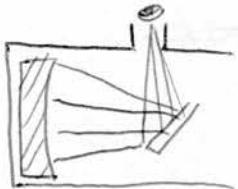
CAGE

→ ide belépett benne a csillagásznak)

PRIME fókusz

ha meg akarta figyelni a képet

- vagy a fáradts tényű a PRIME lókúnsába
- vagy NEWTON-féle megoldás

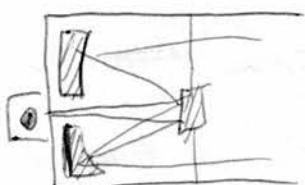


(megfogtak, hogy átléte a
lókúnságot)

bij: csak egysik
oldalt van
megfigyelőpont

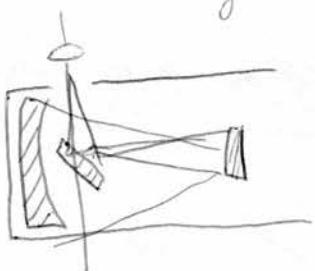
ilyen lókúnságok (akkor golyólyuk) nem
vontják el a képet (ugyanígy minden
megjelenik), csak csökken a kényesség

- Cassegrain - megoldás

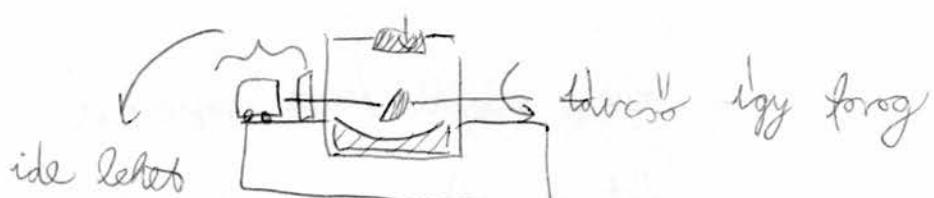


a lókúnságot igyelem használjuk
a másodlagos tükör miatt
ide vethetjük a képet

- Coude - megoldás



a szilánkokba vonva a másodlagos
tükör a kifog



igazán erősítést, pl. helyezzéni, ami a tárcsával együtt
fog

- Als.-tr. felügyesete:

3 bonyol körül fog, amiket nem kell ekvatorialisnak
lenneük → visont ekkor könnyebb mozgatás kell (szabályozható)

- Guiding:

CCD érleli, mene meggy a ~~kép~~ (melyik képpont felé),
és meggy magatja a tücsövet, hogy ~~az~~ kikompensálja ezt

- Kékk: legnagyobb tükrös tücsök

- Hogyan lehet 10 m-es üveget készíteni?

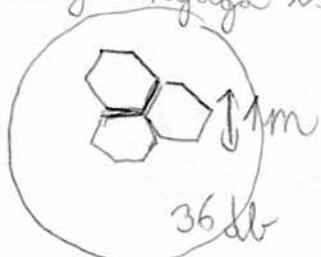
① ~~az~~ a hétköznapi üveg rugalmassá → nem jó

Megoldás:



üveg anyaga is fontos (nem csak hotagulnia)

②



→ ha忘却juk, ~~az~~ a
tartók tudják kompenzálni
a hajlást!

→ és csak 1m-es tükrözök kellenek!

→ a darabok között lefelé fekütek ~~ük~~ nem maradnak
a rétektávolságuk

③ vékony tükrök



→ a tükrök mögött lehet "nyomködni" az
alathasztással, és ezzel kompenzálni
az elhajlást

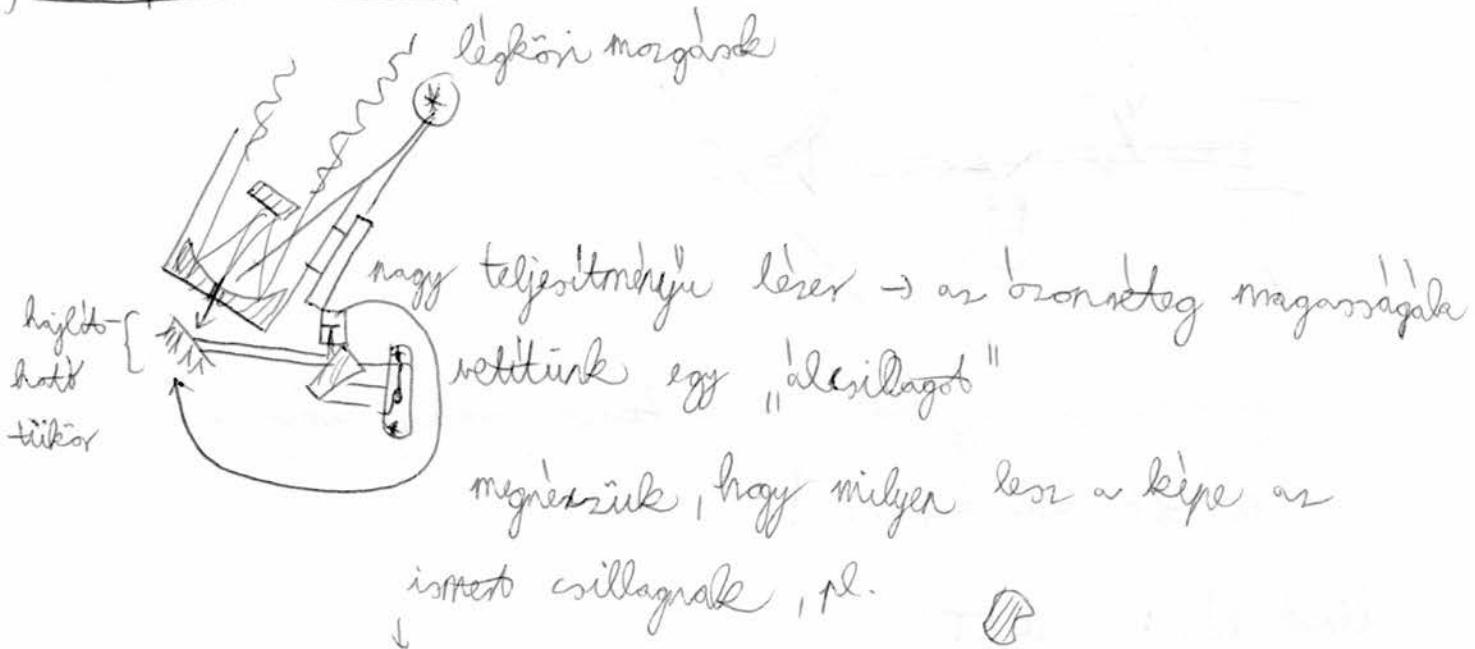
European Southern Observatory → VLT (very large telescope)

= Legnagyobb tücsövek:

• Északi féltekercs: Hawaii, Keck (2 db tükrös)

• Dél - - - : Chile, VLT $\frac{4 \text{ db}}{10} - - -$

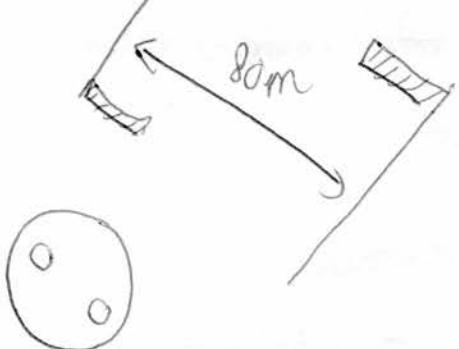
II) Adaptive optikák



kikorrigáljuk a hajltható tükörrel a legtöbb zavar
hatását

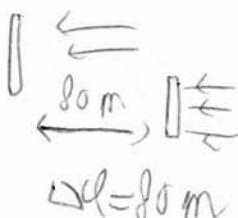
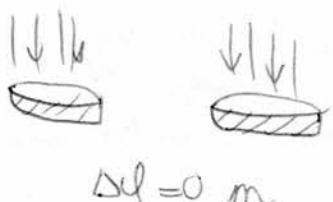
→ erőkkel el lehet érni $\times = 1,22 \frac{\lambda}{D}$ felléptetés, amit az
úrból!

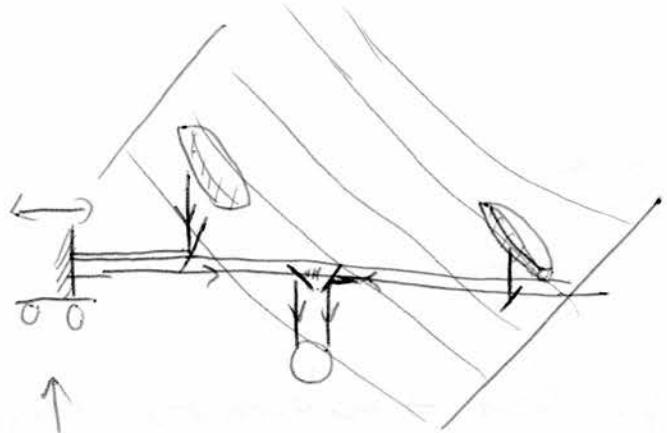
III) Több teleszkóp (interferencia)



→ DE iller az általunk különböző
komigálni kell, ami valójában

pl.





egy kocsival egy tükről mozgunk addig, amíg teljes hosszúság nem lejárunk!

binokular: (LBT)



ketthet egymáshoz mozgatjuk

(exobolygók kutatása:



a bolygó gravitációja is hat a csillagra →
→ a csillag lenyében (elő) vörösettelódés
van a mórgás miatt

ezt már ki lehet mérni

→ de ezzel csak nagyobb bolygókat lehet kímélni

magy:

ha két tükrőm van, az egikkel el tudom hogyan mérni,
hogy a csillag lenyéből mire kidől → (akkorának halványan
a bolygók)

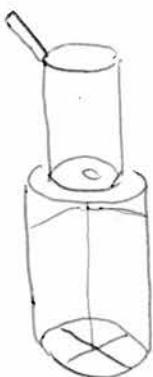
3. óra

- a legkor felbontott részletek határa a felrészül a műtőban körbezárt tükökkel kiküszöbölhető
- DE az EM sugárzás elnyelő hatása már nem!
a legkor erőteljesen tartó -an és bizonyos rádiotávcsövekben
atlátás → infálban, RTG, p -ban már nem!

IV. Utáncsövek:

1) Edwin Hubble Utáncsöve:

- 1990 -ba üzemel egészen máig (2012)
- 1975 -ben kerülték el tervezni az "F feliratos" űrsiklóval együtt
- 2,5m-es, működéses tükrű van
- előző részben rövid képeket küldött az optika hibája miatt
- 1993 -ban kijuttatták : ölyv kis tükrököt raktak bele, mi korrigálta a hibákat



COSTAR

- gyorskörök vonnak a távcsövön, amik rövidtávúak → → ezeket 3 évente cserélni kell, különben elromlik

2) James Webb űrtáborító (J.W.S.T)

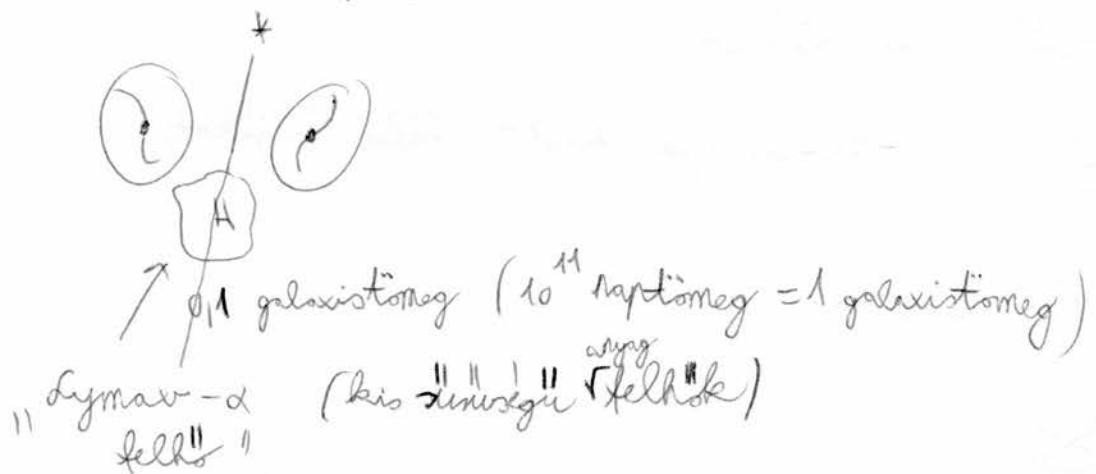
- négyzetesített dizájn
- dánabolból állt, 10 m (!) átmérőjű tükrő



- az alak már nem simít, mert állítható
- szor távoli objektumok megfigyelésére terveztek, amik ~~els~~ infra-vörös tartományban sugároznak (rövidtávolságú miatt) → infravörös kamerája van!

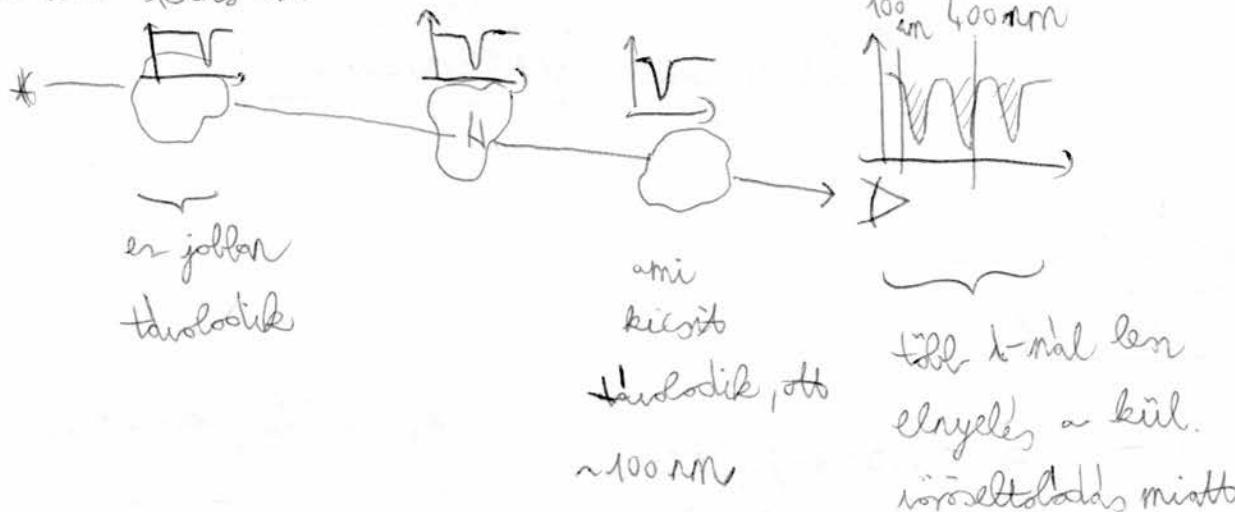
3) Mirek kellenek látásövek? a) infratávcsövek (l. előbb)

b) galaxisok köött H-felhők



↓
a távoli obj. fénye geszti a H felhőt
Lyman-tartományban
↓ UV-tartomány (~ 100 nm)

ha több felhő van



100 nm és 400 nm között

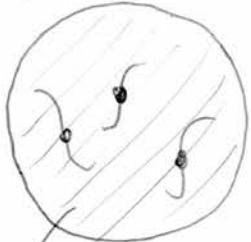
már nem láthatók "könny"

az elnyelés \Rightarrow a H felhők pontos feltervezéshez

(H előre lassza az univ.-tan) az UV tartományban kell vizsgálni

"lymav -x erdő"

c) galaxishalmaz:



1,5 Mpc egy galaxishalmaz átmérője

$$M_{\text{gal}} \sim 10^{11} - 10^{12} M_{\odot}$$

500-1000 galaxis

világűrkorlás $\sim \frac{1}{r^2}$ -es

Nyíltüreg

(nem töltetetts, mert nem volt meg ideje a világgyűlem kialakuláshoz
Ha termelizálódna)

$\sim 10^6 ^\circ\text{K}$ kell hogy legyen a galaxishalmazon belül a
galaxisok köötti felhő komplexlete (különben összeesne
felette lyukká)

Visszatér. $\lambda T = 10^6$

esz a RTG tartományban kell megfigyelni

(\rightarrow a galaxishalmaz tömegnek felépítéséhez adjuk)

(Nap $\sim 6000 \text{ K} \rightarrow$ látható (sárga)

galaxisok $\sim 10^6 \text{ K} \rightarrow$ RTG)
köötti felhő

Csillagok jellemzése

I) Fényesség mérése:

1) Abszolút
Magnitúdó (m)

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \log_{10} \left(\frac{f_1}{f_2} \right)$$

↑ ↑
 a görögök németek
 mindenek mint a fények
 ~ kisebb logaritmikus
 magnitúdójuk érőkény
 a bül.

m_1 : 1. csillag magnitúdója

m_2 : 2. — II —

f_1 : 1. csillag fluxusa

f_2 : — II —

$5 = 6 - 1 \rightarrow 100$ -nál fényesebb mindenek mintab.

$$5 = -2,5 \cdot \log_{10} 10^0 = -2,5 \cdot (-2) = 5$$

- előj:

- nincs fix pont
- nem „abszolút” skála olyan ételemben, hogy a fluxus (amit mérünk)
a távolságtól is függ ($f \sim \frac{1}{d^2}$)

2) Abszolút magnitúdó (M)

$$M = -2,5 \log_{10} f_{10 \text{ pc}}$$

$$m - M = -2,5 \log_{10} \left(\frac{f}{f_{10 \text{ pc}}} \right) = -2,5 \log_{10} \left(\frac{f}{f_{10 \text{ pc}}} \cdot \frac{10^2 \text{ pc}}{1} \right)$$

$\Rightarrow \sim$: látz. magn. 10 parsec távolság esetén

abszolút magn. d és a látz. magnitúdó
ismeretlen meghatározható

$$\text{mee-beren}\bracket{\text{mét hárdaig!}}$$

$$= 5 \log \left(\frac{d}{10} \right) =$$

$$= 5 \log d - 5 = \\ = m - M$$

$M_{\odot} \approx 5$ ha 10 parsec-rejne lenne a Nap

$m_{\odot} \approx -27$ a Nap rövid fénysége $d_{\text{Nap}} \approx$

$$5 \log d - 5 = m - M$$

teljes: M -et valahogy tudjuk, m -et mérjük:

$$\frac{m - M + 5}{5}$$

10

$$= d = 10^{0.2(m-M+5)}$$

távolságmodulus egyenlet

II) Távolságmérés:

1) standard gyertya: olyan típusú csillagok, amiknek csak egyetlen lehetséges m -re érzi a fénysége \rightarrow távolság \rightarrow magnitudo \rightarrow mérés \rightarrow távolságmérés

- Hubble-mérés:

Cepheida-csillag
600 kpc

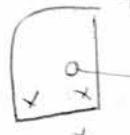


ismert Cepheidekon mérjük a periodusidot
és az $M(t_p)$ összefüggést (távolság \propto M meghatározó
a Cepheida t_p -jeit miatt $\Rightarrow M \rightarrow$ távolság)

Ekkor kell más távolságmerési eljárás —

2) Parallaxis módszer:

látz. kép



valódi díj.



a Földrel. ellipsis

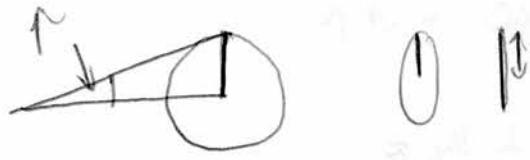


nagyobb látzuk leírni



látz. díj

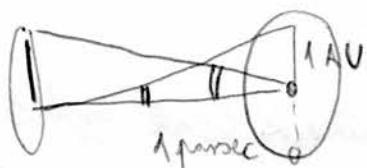
a meghatározott dr. rövesség a többi távoli csillaghoz képest



Keringói
Földhöz, (Helyéhez)

a megfigyelt pályán a (~~Föld pályáján~~) ~~sz.~~ helyzet
alapján változik

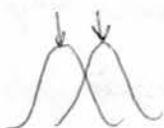
$$p('') = \frac{1}{d(\text{pc})}$$



$$p('') = \frac{1}{d(\text{pc})} = \frac{1}{1,3 \text{ pc}} \approx 0,7 \text{ parallax alatti látószélek}$$

↑
legközelebbi
csillag

A Földön $0,02''$ -ig pontos a ~~bolygóhoz~~ szögmeghat.



$$\frac{1}{0,02''} = 50 \text{ pc} \quad (\text{nagyobb távolságot így nem lehet mérni})$$

Hipparcos: ürőzönd, ami közelí Céphéidök parallaxát

méri (itt a pontosság már $0,002'' \Rightarrow 500 \text{ pc}$ volt \Rightarrow

10-szer nagyobb táv \Rightarrow 1000-szer több csillag) $M(t_p)$ mérésekből

$M(t_p)$ összefügg \Rightarrow távolságunkat távoli csillagokra!

- Mi van, ha a megfigyelt csillag maga is mozog?

Barnard's star: $0,55''/\text{év}$ (legnagyobb elmozdulás)



elsődleges ilyen pályája lenne
a mozgó csillagoknak

- A közelbeli objektumokról feltehetően ismernék, mert csak akkor tudom, hogy közel vagy távol van, ha megnézem a paralaxisát
 \rightarrow minél többet megnézem meg? \rightarrow a ténylegesnek megfelelően (feltérzem, hogy a közeliek elsődleges tényleseiből), de mi van, ha közelbeli, de halvány?

4. Ira

A csillagok

A csillagok belső szerkezete

1) Feltételesek:

- gömbösségi ($99\% - \text{ra igaz}$)

10^{-5}

• kivételek:

- neutroncsillag (nincs miatt ellipsoid)

\rightarrow akkoridő tönyör: ha egy csillag egy másik objektumról



épper magának nincs

\rightarrow épper felrobbantó csillag

- öngártás: saját gravitáció tekervére összegömbök

(villágók keletkezése:

villágóri gasfelhőből: de ekkor kell egy bizonyos tömeg
elérésre, hogy a grav. összekötésre teljes segítség:

- supernova robbanás lökéshulláma
(spindlkar)
- galaxisok tömeghulláma: a galaxis nem egységes
villágódból áll (!), hanem a villágók alkotják, csak a
tömeghullám összekötja "ket, ettől függetlenül lezak
→ a villágóri felhőt is összekötő ilyenkor
galaxisok összetételekörön összefüggésben állnak)

- r, t -hez függnek a változók
(magán) $\rho \leq 1$ (viszonyt mondja meg)

- változók: $\rho, T, X_i \quad i=1,2,3,\dots$
kémiai összetések, pl. $X_1 = H, X_2 = He, \dots$

(primordialis nukleosintézis: a világrendszer keletkezése során
75% H, 25% He keletkezett, a nehézebb elemek <1% -ban)
tömegarányok

- többi parameter eredő formái, pl. $\rho(\rho, T, X_i)$

ϵ	λ	$U(\rho, T, X_i)$	S
emisszió	abszorpció	energiatartalom	entropia
alakítás	távoli tömeg		
tárgyak			
tömeg			
tömegsűrűség			

2) Egyenletek:

① Termodynamika I. tétel:

$$T dS = \frac{dU}{\rho} - \frac{1}{\rho^2} d\rho$$

② Navier - Stokes - egyenlet:

$$\frac{\partial^2 r}{\partial t^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial V}{\partial r} = 0$$

(sugar irányába
gyorsulás)

V: gravitációs potenciál

$$\Delta V = 4\pi \cdot G \cdot g$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right)$$

$$\textcircled{3} \quad \rho \cdot T \cdot \frac{dS}{dt} = \rho \cdot \varepsilon - \text{div } \underline{F}$$

$\underbrace{}$ hőmenedzseg $\underbrace{}$ hőátvitel $\underbrace{}$ hőanomalias

$$\textcircled{4} \quad \underline{F} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial r}$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = 0$$

$$f = -\lambda \frac{\partial T}{\partial r}$$

$$\textcircled{3} / \rho \rightarrow \frac{1}{\rho r^2} \left(\frac{\partial (rf)}{\partial r} \right) = \varepsilon - T \frac{dS}{dt}$$

$$M_r \equiv \int_0^r 4\pi \cdot r^2 \cdot \rho \cdot dr : r \text{ sugaron belüli tömeg}$$

$$L_r \equiv 4\pi r^2 \cdot F : az r sugaron kívül felületen érlehető$$

$$K \equiv \frac{4 \cdot \alpha c T^3}{3 \rho} \cdot \frac{1}{\lambda} : \text{luminositas} \\ \text{radiatív operatílus kölcsönössége (a sugarazásból
mennyit nyel el/enged ki az anyag)}$$

- (a: sugorvosi 'allando'
 c: környezetbőrseg)

$$\Rightarrow \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{GM_r}{r^2} + \frac{v^2 r}{2t^2} = 0$$

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

$$\frac{\partial L_r}{\partial r} = 4\pi r^2 \rho \left(\epsilon - T \frac{\partial S}{\partial t} \right)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = - \frac{3K \cdot \rho \cdot L_r}{16\pi \cdot a \cdot c \cdot T^3 \cdot r^2} \quad \leftarrow \textcircled{4}, K \rightarrow \lambda, L_r \rightarrow F$$

$$\frac{\partial p}{\partial M_r} = - \frac{GM_r}{4\pi r} - \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} \quad \leftarrow \frac{\partial}{\partial r} = \rho \cdot 4\pi r^2 \cdot \frac{\partial}{\partial M_r}$$

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

$$\frac{\partial L_r}{\partial M_r} = \epsilon - T \cancel{\frac{\partial S}{\partial t}}$$

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

- A csillag hidrostatikai egységeiben van $\Rightarrow \frac{\partial r}{\partial t^2} = 0$
 (a gravitációs viszonytal a teljes egységből a nyomásból származó rész)
- S (lokálisan) nem változik időben
 \rightarrow csak ott lesz hőenergia, ahol feltekerik \Rightarrow a csillag belsőjében feltekerik mennyi hő, ez halad kifele!

- Rendeltetések:

• $r=0$

$\hookrightarrow M_r = 0 \quad g_c = ?$

$\hookrightarrow L_r = 0 \quad T_c = ?$

• cíllaz felülről: $r=R$

$\hookrightarrow M_r = M \Rightarrow g = 0$

$\hookrightarrow F = \sigma \cdot T^4 \rightarrow \boxed{L = 4\pi r^2 \cdot F = 4\pi r^2 \cdot \sigma \cdot T_{eff}^4}$

(T_{eff} -et definiálhatjuk így, valójában persze T_{eff} nincs, erre a felülről hőmérsékletet valamivel ~18% eltérés \leftarrow alacsonyabb az effektív éhűkkel)

\Downarrow
 $T \approx \left(\frac{L}{4\pi R^2 \cdot \sigma} \right)^{1/4}$ a felülről

- A megoldásra fel kell tölteni minden állapotgyengetet:

$$r = K \cdot g^{1+\frac{1}{n}} \quad \text{politrop összefüggés (modell)}$$

\Rightarrow cíllaz politrop modellje

n: politrop index

$$g = g_c \cdot \theta^n \quad \leftarrow n = K^n \cdot g^{1+n} \quad \text{politrop modellból}$$

$$\rho = \rho_c \cdot \theta^{n+1} \quad \theta: \text{dimenzióban változó (politrop hőmérséklet)}$$

$$r = \alpha \cdot \left\{ \begin{array}{l} : \text{dimenzióban változó} \\ \alpha: \text{skálázó} \end{array} \right.$$

$$\frac{dp}{dr} = -\frac{GM_r}{r^2} \cdot g$$

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} \right) = -4\pi G \cdot g$$

beina 2 dimenzióban változókat

$$\boxed{\frac{1}{\xi^2} \frac{d}{d\xi} \left(\xi^2 \frac{d\theta}{d\xi} \right) = -\Theta^n}$$

Darcs-Emden-egyenlet

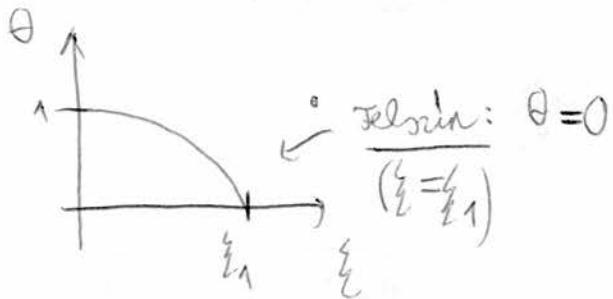
↓

$\theta(\xi)$ különböző n-re analitikusan vagy numerikusan megkapható

5. ora

(folyt.) feltételrendserek:

- centrum: $\theta=1$; $\frac{d\theta}{d\xi}=0$
 $(\xi=0)$



$$n=0 \quad \theta = 1 - \frac{\xi^2}{6} \quad \xi_1 = \sqrt{6}$$

$$n=1 \quad \theta = \frac{\sin \xi}{\xi} \quad \xi_1 = \pi$$

$$n=5 \quad \theta = \left(1 + \frac{\xi^2}{3} \right)^{-1/2} \quad \xi_1 \rightarrow \infty$$

(azaz csak a homoklelek:
jól közelíthető, ha azt használ
a Nap közelében 15 millió K
van, felszínen 5000 K)

analitikus megoldások
eredében az esetekben vanak

$$n = k \cdot s^{1+\frac{1}{n}}$$

$n=0$ $s = \infty$ összegyűrűben, pl. Föld
(\sim folyadék modell)

$n=5$: nincs teljes

$n < 5$: van teljes

$\boxed{n=\frac{3}{2}}$ nemrelativisztikus csillaganyag

$\boxed{n=3}$ ultra relativisztikus $-||-$

erek között van a valódi csillaganyag, de itt csak numerikusan lehet megoldani

n	s_c / s_{Heg}	f_1
$\frac{3}{2}$	5,99	3,65
3	54,18	6,9

3) Eddington-kéle közelítés

$$\rho = \rho_{\text{anyag}} + \rho_{\text{mag}} \quad \rho_{\text{mag}} = \rho_{\text{radiation}}$$

(gasz)

$$\frac{\rho_{\text{gasz}}}{\rho} = \beta = \text{konst.} \quad (\beta = 0 \rightarrow \text{sugárzás nyomás számlálás} \\ \beta = 1 \rightarrow \text{gáznyomás számlálás})$$

$$p_g = \frac{k}{\mu H} \cdot p \cdot T \rightarrow T = \frac{\mu H}{k} \cdot \frac{p_g}{p} = \frac{\mu H}{k} \cdot \frac{p_n}{p}$$

(μ : kimiai pb.: nekkora a H részaránya)

$$N_r = \frac{\alpha}{3} T^4 \rightarrow T = \frac{3 N_r}{\alpha} = \frac{3 \cdot (1-\beta) p_n}{\alpha}$$

ultrarelativisztikus $\Rightarrow n=3$

$$\mu = k \cdot p^{1/3}$$

$$\frac{M}{M_\odot} = \left(\frac{18,1}{\mu^2} \right) \cdot \frac{\sqrt{1-\beta}}{\beta^2}$$

(M_{Nap})

$$\mu = 0,62 \text{ a Nap esetén}$$

levezetés

$$R = a \xi_1 = \dots$$

$$M = \int_0^R 4\pi r^2 p dr = \dots$$

$$\Rightarrow R^{\frac{3-n}{n}} \cdot M^{\frac{n+1}{n}} = \frac{K}{G(N_n)} \rightarrow N_n = \frac{(4\pi)^{1/4}}{n+1} \left(\left[\xi \cdot \frac{d\theta}{d\xi} \right]_{\xi=\xi_1}^{\xi=\xi_n} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot \xi^{\frac{n+1}{n}}$$

$n=3 - \text{ra}$

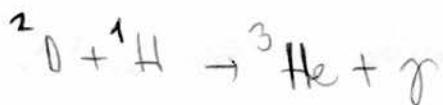
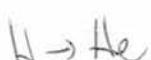
$$M = \left(\frac{K}{0,3636} \right)^{3/2}$$

$$\frac{M}{M_\odot} = \frac{18,1}{\mu^2} \frac{\sqrt{1-\beta}}{\beta^2} \rightarrow \beta = 0,9995$$

\Rightarrow Napoméghosszú esetén a gáz nyomása számszerűen

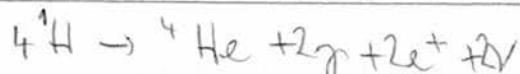
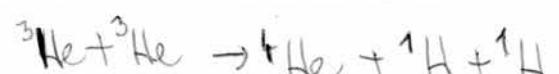
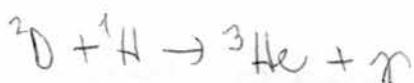
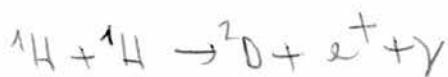
A súlyok határmelélete (működés reakciók)

1)

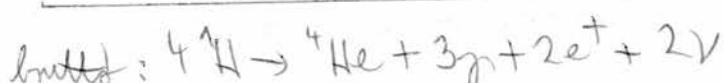
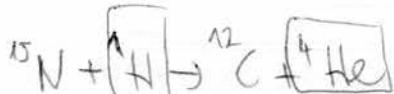
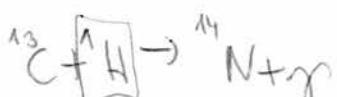
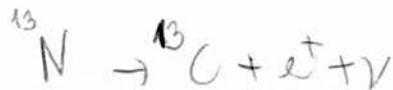
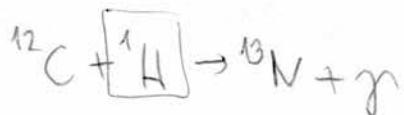


$15 \cdot 10^6$ °K-en már vége tud menni ez a folyamat

a) p-p lánc



b) CNO ciklus



(Ezért minden kell lennie a súlyok)

energiatermelés:

$$p-p \quad E = 9 \cdot 10^{-37} \left(\frac{5}{m} K^{-4} \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-3} \right) p^2 X T$$

(1 db lánc)

↑ X: H részaránya

Naptörmegű súlyok

a p-p lánc jelentősége

$$CNO \quad E = 3 \cdot 10^{-57} \left(\frac{5}{m} K^{-4} \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-3} \right) p^2 X \cdot X \cdot T$$

↑

bázissúlyok

magy T miatt már

CNO ciklus is

jelentős szerepet játszik

T: 1-2 nappaligrenddel
magaból

2) Nap-neutrino problema

- Naplól száleg arányi ν jön, miből amennyit az energiatermelés alapján elvárunk?
 - $1370 \frac{W}{m^2} = \text{Nap állandó} \quad (\text{akkor intensitás a Föld felülein})$
- ↳ Föld-Nap táv. + Nap állandó \rightarrow Nap intensitás
valós neutrino fluxus \leftarrow

- ν -k mérése:



kis valószínűséggel, de lehetséges a fordított reakció

↳ félvillanások érlelése

(melyen a Föld előtt (elhagyott bolygókban) hatalmas
töltelyekben részt vesz török) és a félvillanásokat
itt mérik)

- probléma: eddig félakkora fluxust mértünk, miből
amelykorát várunk volna!

→ lehetséges magyarázat: ν -nak van tömege, oszcillál
a kül. ν illaptsok között (atalakul, pl. $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$), és
az új illaptsot már nem mérjük

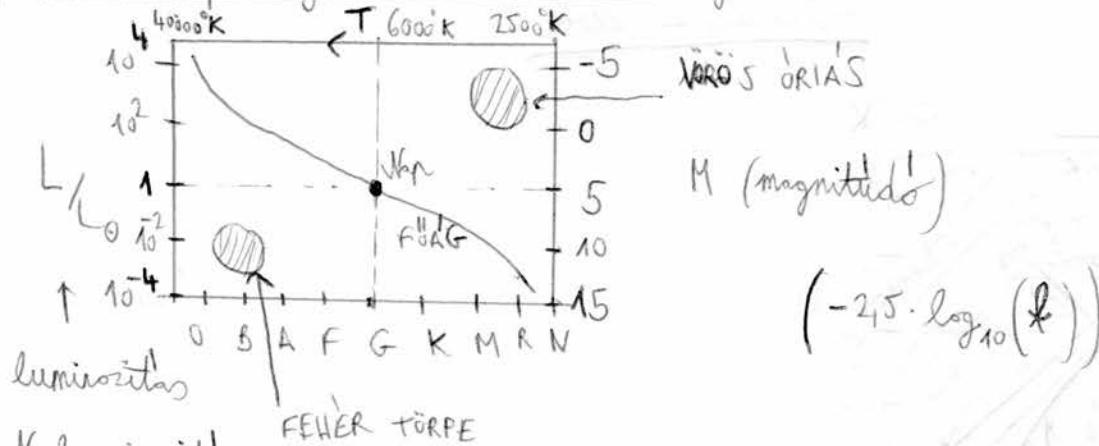
W.I.M.P. (weakly interacting massive particles) \rightarrow sötét anyag
lehetséges magyarázata

Max, Szalay (1972) \rightarrow 20 eV tömegű ν lehetne a sötét anyag!

baj: mai méréssel $m_\nu = 0 \pm 2$ eV \rightarrow a ν önmagában nem magyarázat

A csillagok összehasonlítása

1) Hertzsprung - Russell diagram:



Vörösluminositas
egyébként meve

A, B, C, D, ...

sorrendben felvértek fel a műképek

alapján a csillagostályokat (történeti sorrend)

A hőmérséklet, működészetűben is luminositas nem függ! Luminositas!

→ Föld

→ Vörös óriás: nagy vörösluminositas, kis hőmérséklet

(kis intenzitás, de nagy felület → nagy lumin.)

→ Fehér törpé: kis vöröslumin., nagy hőmérséklet

(nagy intenzitás, de kis felület)

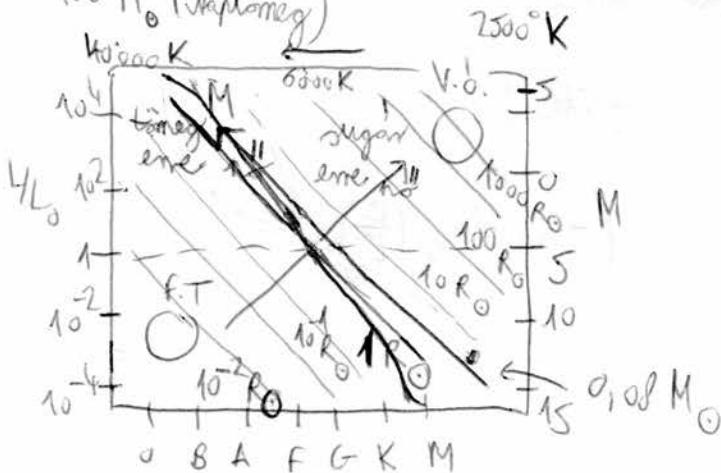
2) Összehasonlítás

Összehasonlítás	Szin	T felszín(10^3 K)	Nemelődök	Fém:
O	kék - W	28-50	ionizált	minden ami nem H és He
B	kék - fehér	10-28	neutrális He	(csillagoztatásban)
A	fehér	7,5-10	neutrális H + is	
F	sárga - fehér	6-7,5	(neutrális) H, ionizált fém	
G	sárga	5-6	neutrális + ionizált fém	
K	naranccs	2,5-5	neutrális fém	
M	piros - marcs	2,5-3,5	-29 - (titán-oxid, Ca-vezetések)	

6. óra

Csillagok élete

1) $\sim 100 M_{\odot}$ (Naptömeg)



$0,08 M_{\odot}$ alatt nem indul be a termosztációs fázis

- Íme ha nagy a tömegtől eltek, meg összekapcsolik \rightarrow felmelegszik \rightarrow infravörösben sugaroznak ezek az objektumok = barna töpe (nem csillag!)
- 100 Naptömeg felé a szeketelyük keletkezik

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$\frac{L}{4\pi\sigma} \cdot \frac{1}{T^4} = R^2$$

$$\sqrt{\frac{L}{4\pi\sigma}} \cdot \frac{1}{T^2} = R \Rightarrow R \sim \sqrt{L} \cdot \frac{1}{T^2}$$

$$L \sim M^{3,5}$$

a luminózsis a tömeg 3,5. hatvánnyal arányos

Mennyi idő tölt a folyam a csillag?

$$\frac{t_{MS}}{L} \sim \frac{M}{L} \sim \frac{M}{M^{3,5}} \sim \underline{\underline{M^{-2,5}}}$$

(main sequence)

-30-

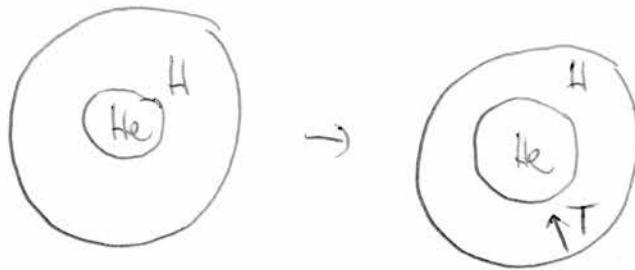
$M \sim$ mennyi üzemanyag van
 $L \sim$ milyen gyorsan legti

\Rightarrow a néha sűrűbbek hamar elhalnak, a
kisebb piros csillagok nagyon sokig működnek
(végig ottmaradnak)

p.e. 100 M_{sun} alatt elérő a Nap a Tejügyrendszer közepe
1000 M_{sun} alatt halnak el a nagy csillagok
 \Rightarrow a spirálkar eleje kék, a hatalja piros!

2) kis csillagok ($M < 4M_{\odot}$) élete

a)



\rightarrow egy idő után (szűkülés) eléri
az a téteget, ahol már
nem elég a homeneklet a
fűzéshez \Rightarrow

\Rightarrow leáll a fúzió \Rightarrow a sugárzásból adódó fotonnyomás
megcsökken \Rightarrow adiabatikusan összekötik a csillag

b) - ekkor nincs felmelegítik a belső homenekletet \Rightarrow

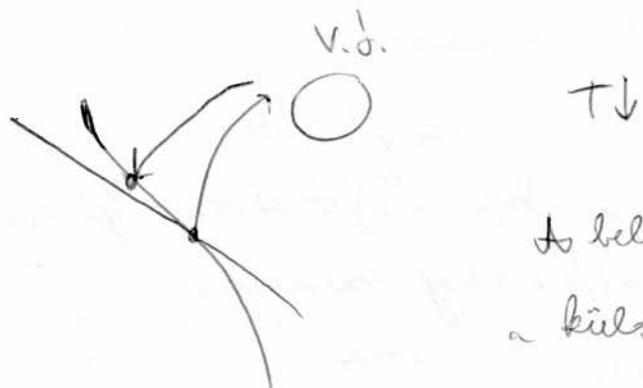
$$\Rightarrow 10^8 \text{ K} = T_{\text{HeII}} \quad T \uparrow$$

- ekkor elindul a He fúziója! $\text{He} \rightarrow \text{C}$



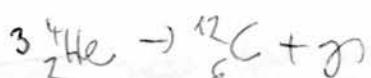
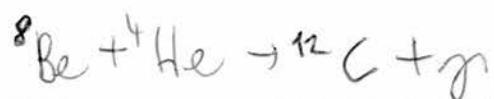
körben a fotonnyomás izományt gyorsan
megcsökken \Downarrow

a külső rétegekbe belekapaszkodva felfújódik a csillag
(adiabatikus ~~tágulás~~) \rightarrow vörös bársony lesz



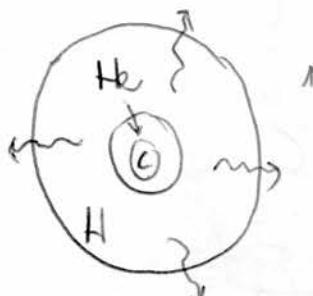
\rightarrow belsője nagyon meleg (10^8 K)
külsője hidegebb (2500 K)

Tripla- α folyamat:



- c) $T \downarrow$ miatt ismét szekulcsodik \rightarrow visszamegy a fógra,
de már tripla- α folyamattal tennel lőt
(a közepe még mindig 10^8 K -es)

- d) Ha a He felülete is leáll (a C kiszerül a magas
atom. magból)



megint leérik

felmelegízik, DE

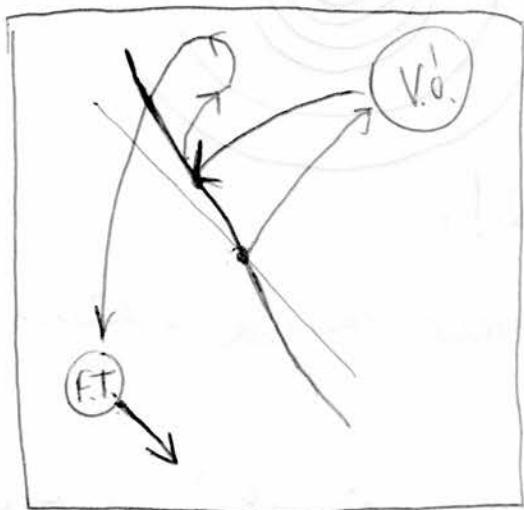
közben ismét megindítja a fotonnyomás

akkor lökésből az újabb fotonnyomás, hogy a bőlö
rétegek (H, He) ledobodnak \Rightarrow met nem elég a gravitáció
↓

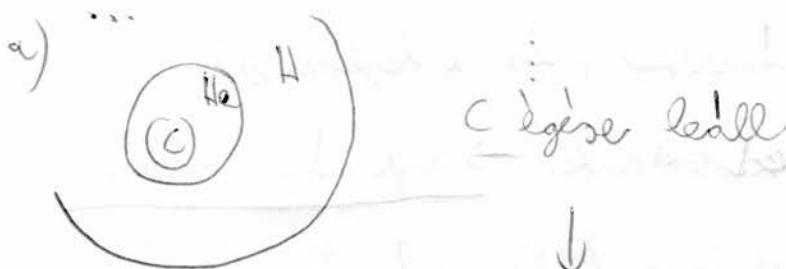
- marad a forró szénmag (ami megjobban felmelegedett az
összeküldés során) ($T > 10^8 K$)
kis sugar, nagy fehérég \Rightarrow fehér töpe

e) a fehér töpe egyszerűen kéhül:

- kis tömegű rész nem tud újabb fürészés összeküldni
- T csökken, R nagyjából állando marad, luminossitas
csökken \rightarrow hűlesi görbe



3) Nagy tömegű villágok ($M > 4 M_\odot$)

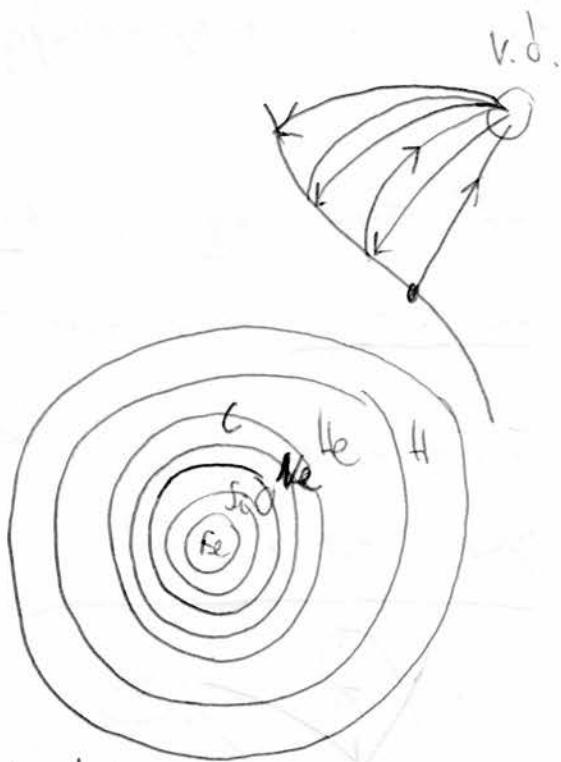


de most az összekötés utáni felbukkanás is meg tudja
tartani a gravitációt!

- jobb vörös óriás állapot
- ↓
- összekötés, felmelegedés

Ne keletkezik!

- jobb vörös óriás állapot
- O fúzis
- vörös óriás
- Si fúzis (fel nap)
- vörös óriás
- Fe fúzis

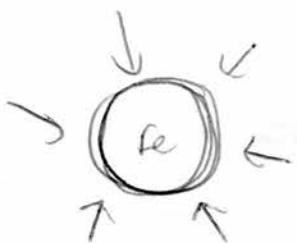


→ Fe több mint nem fúzióval!

Lépjen, mint egy "betontalapzat", amire rösenek a külső rétegek

- DE nélküli esetben $p + n \rightarrow \text{neutrino}$, és a p növény alakul (körben neutrino keletkezik)
- körben a külső rétegek rösenek, és a leg könnyebb rétegek nagy sebességgel lecsökkennek → supernova robbanás
- Ekkor ~ nagy energia felosztódása körben rekeszelt elemek

is keletkezik



a foton meg nem
tud kijutni, de a neutrino!
igen!

↓

a fotonvillás 1 nappal a robbanás után jön ki

⇒ a neutrino 1 nappal megelőzi a fotonokat!

Ka figyeljük a neutrinokat, észlelhetünk supernóvat!

- viszamond a neutroncsillag, ha $4M_{\odot} < M < 60M_{\odot}$
(eredeti cílg.)
- ha $M > 60M_{\odot}$: lekétezők keletkezik

az eredeti cílgaz ~95%-a ledobódik,

viszamond ~5%

↓

a neutroncsillag legfeljebb $3M_{\odot}$ lehet (kettek lekétezők
keletkezik)

- Általában a cíllag kezdetben is forró
↳ gyorsan forogni kezd összekacsadás után
- Ha mágneses tek. is van → rádióhullámokat bocsát ki
- = pulsar: gyorsan forró, mágneses forról rendelkezik & n° cíllag

b) Supernóvak:

- Type II: nagytömegű csillagok
- Type Ia, Ib, Ic: nedvesek belükben

- Type I: H dominál a röntgenben (de Ia és Ic-ben néhány elem)
- Type II: néhány elemek is vanak nagy mennyiségen (izomák)

- Type Ia: fehér töpből keletkezik!

• ionizált C gáz: degeenerált e⁻ gáz

• Chandrasekhar: -||- nukleáris tömeg
beül rá!

• de ez nem tiszta többlet: $M_{\text{CH}} = 1,4 \cdot M_{\odot}$ (Chandrasekhar határ)

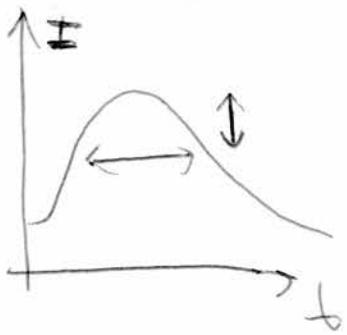
→ ilyen tömeg felett a fehér töpe is össeroppan
supernóvaként!

(azaz ennek nevezik, mert a fehér töpek kis tömegükkel
a ledobott kúbra lejárhatnak)

• ez a folyamat minden $1,4 \cdot M_{\odot}$ -nél robban fel → minden
milyen felügyes → standard gyertya!

távolságunkról alkalmaz (milyen felügyes, de en a távolság
földi életben más felügyezések hatására) ↑

ugyanakkor a villan



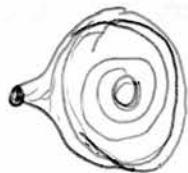
ha nem szigorúan intensitású,
az intensitás lefutása idővel ~~lineáris~~
arányos

- Hogyan kerül tömeg a két töréke?

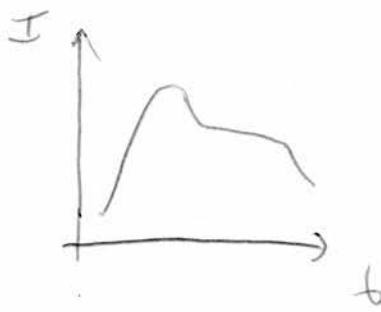
p. másik csillagról \rightarrow kettős csillagok



M $\xrightarrow{\text{1% bolygó}}$ ha a keletkező protoplanetáris korong
rendszer $\xrightarrow{\text{99% csele}}$ perturbálja a nagy, a bolygó nem tudja
P (perturbál) $\xrightarrow{\text{1% csele}}$ elűnni \Rightarrow 2 csillag keletkezik
apr. $\xrightarrow{\text{99% bolygók}}$



akkorral két törpe



II, $I/I_b, I/c$ más időfutású

2011-ben Nobel-díj:

I a törpek szuperból transzformációkkal meg tudnak
elkapitani, hogyan az universum gyorsulva tagul

7. óra

Koordináta rendszerek

1) Ekvatorialis k.r.:

a) Föld geometriaijához van illusztratív

égsíki pólus (nötkörn celestial pole = np)



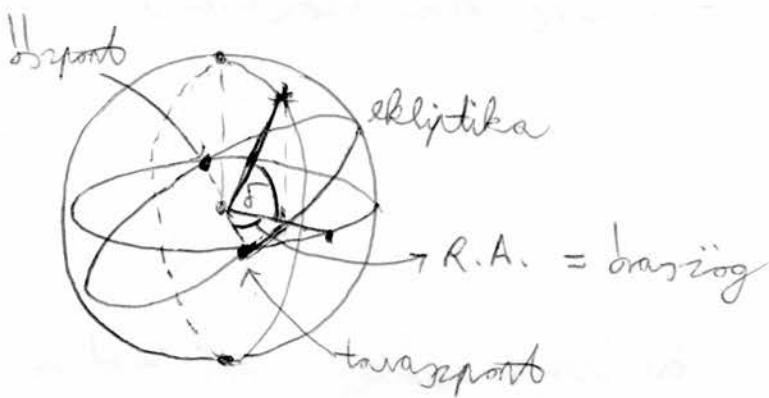
- Éggomb: egy rettékűk az asztro objektumokat

• tükörrel nem fogalmazunk (éggomb tétesz, megmű)

• 2 szögkoord. jellemzi

- Ekkliptika: a Nap "kezében" földi k.r.-ból

- Órakör: a csillagok tartalmára fókuszálva

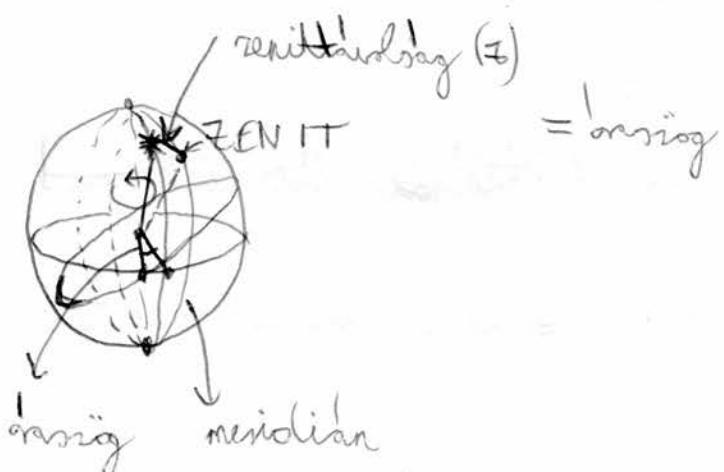


Ekkliptika és égi egyenlítés metrásponjtjai: Távazspont

Hszpont

- retaszencio (R.A.) $\alpha \leq 360^\circ$ vagy $0^\circ < \alpha < 24h$ ($1h = 15^\circ$)

az óraihoz is a horizontális kötőtől szig az egész eggyel

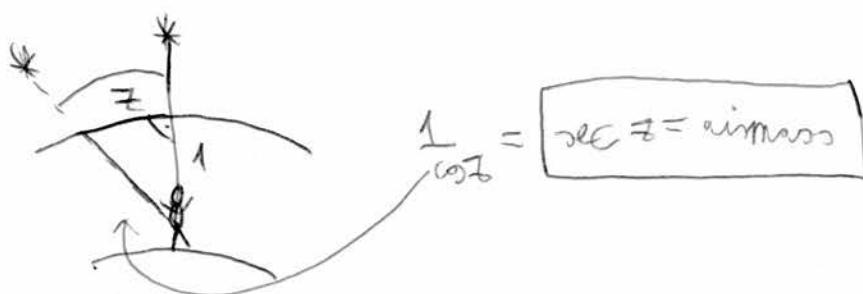


- az horizont vissza, ha forog a Föld!

- meridian: önmegy a zenitén és az nap + szp-n

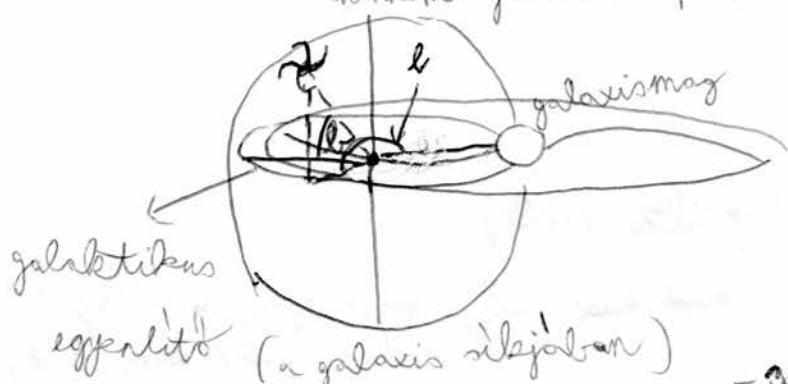
- Ha ε (zenithav.) = 0 \Rightarrow a csillag a zenitén van:

jó, mert kevesebb levezetni kell! törni



2) Galaktikus k.r.

nothern galactic pole



- b : $-90^\circ \leq b \leq 90^\circ$

galaktikus magasság

- l : galaktikus horizontális

$0^\circ \leq l \leq 360^\circ$

pl. galaxismag: $\alpha = 0^\circ$, $b = 0^\circ$ galaktikus k.r.

$$\alpha = 17^{\text{h}} 45^{\text{m}} \delta = -28^\circ 50'$$



a deli feltételek látásuk (nincs)

(Érdeki feltételek, pl. Br. $\sim 23^\circ \Rightarrow$ közel van a horizonthoz,
a levegő kissékonyha)

Galaxisok

1) Megfigyelés:

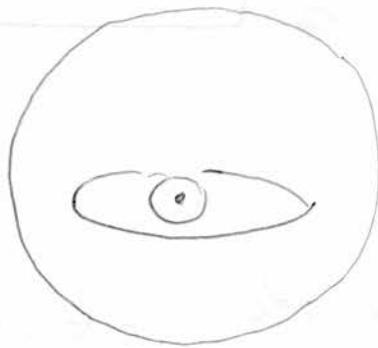
egy galaxis akkor látásik, ha nincs a galaktikus
egyenlítő közelén, mert a ^{aztudat} ponton nem látásik

$$\Rightarrow b > 30^\circ$$

2) Szerkezet:

- ① MAG
- ② KORONG
- ③ HALO

I) II)



mag:

① • Gömbszem (1:1) nagy lapult (1:3)

• öleg villágok alkotják, mert nincs ilyen forró gáz a villágkörön

- galaxis körében: supermassív fekete lyuk (\rightarrow több anyag halokból nő meg \rightarrow megtáblazott vonz. magasság)

- 1-2 kpc nagyságú

körön:

- lapult (1:20)

- $r \sim 15-20$ kpc

- vastagág pár 100 pc

- fiajai + öreg csillagok, gáz + por alkotják

- HALO:

- jömbeszűkítés

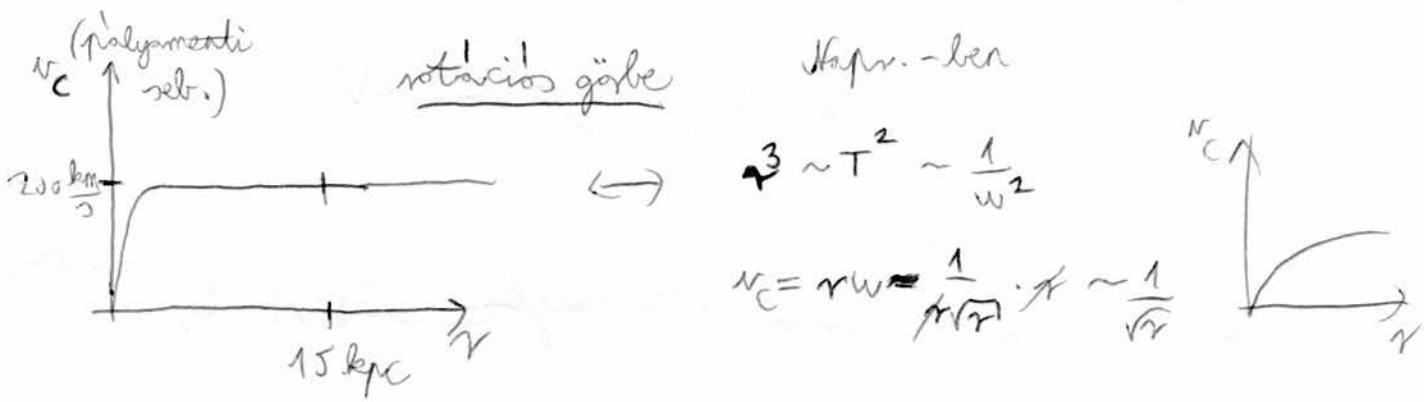
- I.: kis szélesség

- öreg csillagok, kevés por és gáz

- 50 kpc

- II.: több HALO

- több anyag



\approx Konstans a rotációs görbe \Rightarrow egy értelmezhető, hogy

gömbbeni eloszlásban egyszerű is több tömeg kölcsönhatás

\Rightarrow jobb $\frac{1}{r^2}$ (is természetes görgömb) eloszlású a többi halo

↓

(9-szer)

a többi halo -ban ≈ 10 -szor annyi anyag van!

(ez határozza meg a keringői sebességet)

- lehetséges magyarázatok több anyagra:

• MACHO

(massive astrophysical compact halo object)

ha sok-sok Jupiter alkotja a galaxis halóját!

azt nem láttuk

• WIMP

(weakly interacting massive particle)

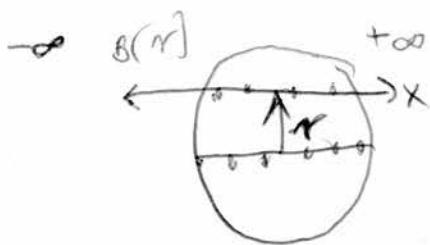
pl. neutrino (ha 20 eV lenne a tömege, megnagyobbán a többi anyagot)

↓
de nem láttuk, hogy $m_\nu = 0 \pm 2$ eV

○ MAG:

$B(r)$: lényeg a magtól r távolságban $B(r) = B_0 e^{-7,64 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{14}}$

→ de Vaucouleurs - profil



$$x \in (-\infty, +\infty)$$

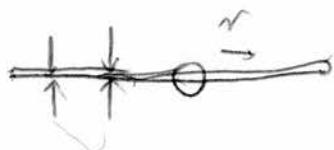
$$\int_{-\infty}^{+\infty} g(\sqrt{x^2 + r^2}) dx = B(r)$$

- Young 1976 -ban megrakotta, hogy extrem lelet megoldás ilyen formában (egyszerű)

- Jaffe $\sim \frac{1}{r^2 \ln r^2}$ anyagmosás! \rightarrow ekkor $B(r)$ majdnem kiadja a ΔV -profil

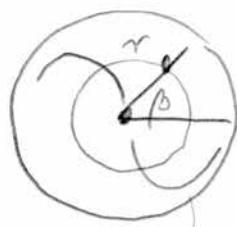
$\Rightarrow B(r) \rightarrow$ el fogadni a ΔV -profilnak, de $g(r)$ -nek a Jaffe profil hozzájárul

② Korong:



$$\Sigma(r) = \Sigma_0 \cdot e^{-\frac{1}{4\pi r}}$$

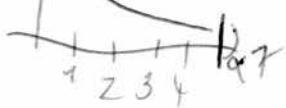
sigma felületi
százalék



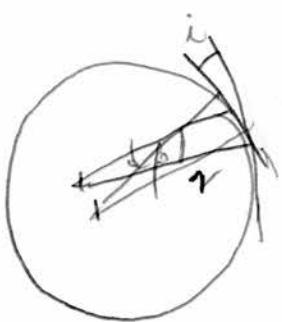
medzi:

$\Sigma(r)$ a százalék van teljesen

Mivel a százeg logaritmikus



\Rightarrow logaritmikus spirál



$$\frac{dr}{r} = \operatorname{tg} i \cdot d\beta$$

$$\ln r = \operatorname{tg} i \cdot (\beta - \beta_0)$$

β logáriumkúsnak a sugár!

$$B(r, \beta) = B_0 \cdot e^{-\alpha r} \left\{ 1 + c(r) \cdot \sin \left[m(\beta - \beta_0) \frac{\ln r}{\operatorname{tg} i} \right] \right\}$$

sugár

vált csökkenés

$c(r)$: a spirál kontrasztja

\hookrightarrow r -től növegg, mint köpeny ~

spirálkör fejében,
mint a szélben



a körök →

miatt

a fedényeség

szín-ossz. változ. (modell)

8. óra

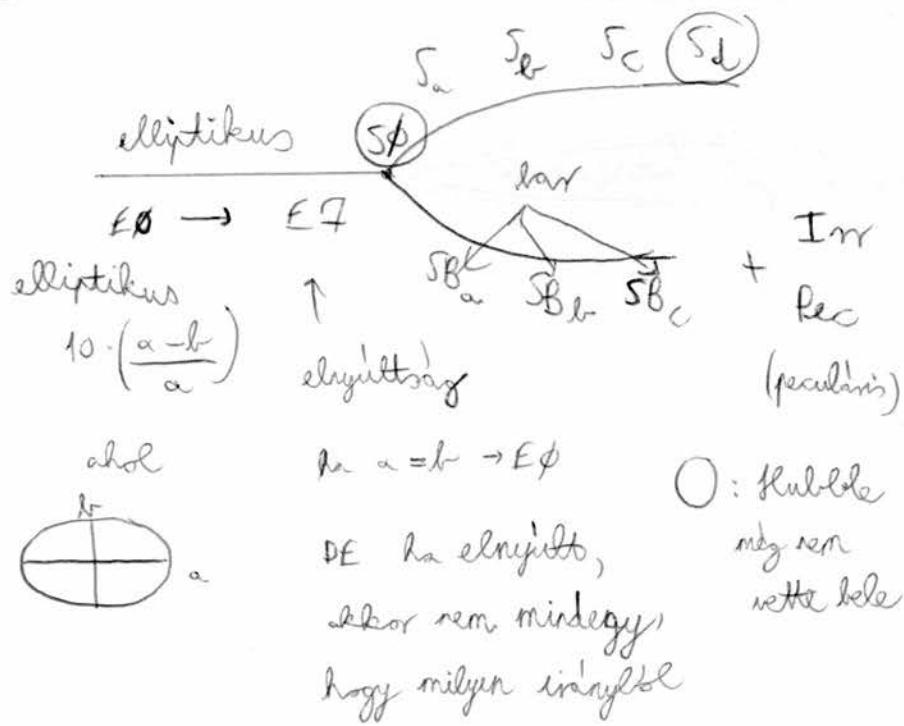
Galaxiselmasz

- o) Messier → halvány kitérőtűs objektumok
Hubble → erős többnyire galaxisok



Ortodoxia:

1) Hubble-féle "Langilla" diagram



($E\phi$ lehet $E7$ is → fizikai

jellemzésre abba nem igazán lehet

bövetkeztetni)

- spiralis

$S_a \leftrightarrow S_c$: mag / közöng / vagy alapján (M/K)

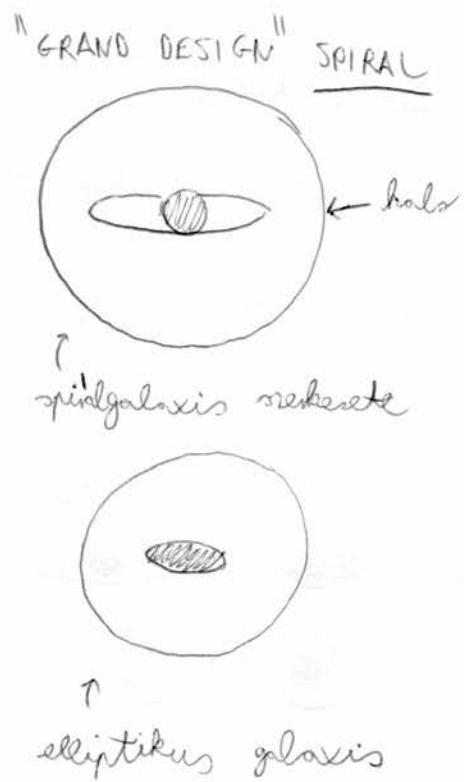
H/K



i



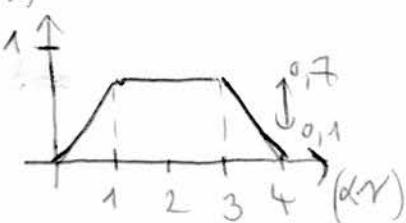
- 4,5 -



i: körök nyilaszöge

c: kontrast

c(r)



$$\beta(r, \beta) = \beta_0 \cdot e^{-dr} \cdot \left[1 + c(r) \sin \left\{ m \left(\beta - \beta_0 - \frac{dr}{t_{\beta}} \right) \right\} \right]$$

folyoság
1
kontrast

ha $c(r) = 0 \rightarrow \beta$ füg.-ében nincs változás

ha $c = 1 \rightarrow$ elös változás

↓

- ha c kicsi (S_a): alig kontrasztosak a körök, halványak a korongok kepest
- ha c nagy (S_c): akár jól látásnak

$S_a \leftrightarrow S_c$

M/K  

i  

c $0,1 \leftrightarrow 0,7$

- különs galaxis:



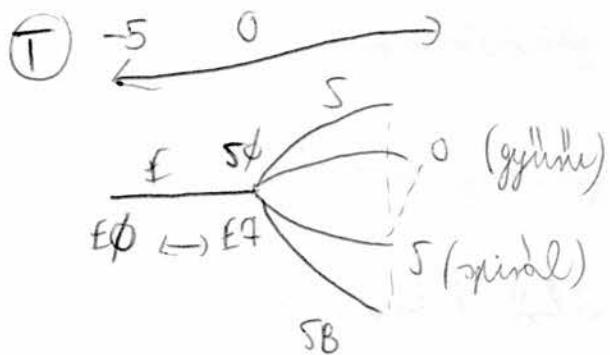
, hasonló tulajdonságok, mint a rima spirálal

- Irr: összetöbbi, reguláris rendszerek nem besorolhatók galaxisok, pl. ütközés, vagy éppen keletkezés

- S ϕ : lencse alakú galaxisok

4)

- Lehet többi dimenziókat adni a diagramnak:



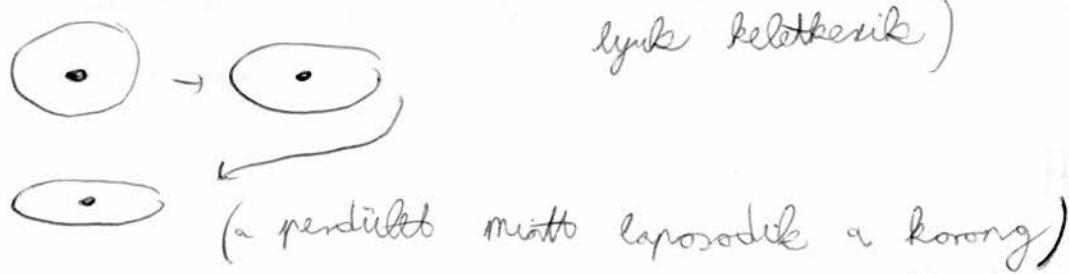
T:(type) numerikus Hubble-index:

- a fizikai paraméterek nagyjából függően változnak
- a diagramon → minden haladva

2) Galaxisok hierarchikus felételező modellje

① HALO : létterjén több anyaggal

② leketedlyük $\Rightarrow \bullet \leftarrow$ ($100 M_{\odot}$ felett már egyből lekete
lyuk keletkezik)



③ kvarz : a leketedlyükben lévő anyag elkerül sugárzni
Q.S.O.: quasi stellar object

M. Schmidt (1963): kvarárok felidézése:

potenciál és finyus (kvarári csillag), DE
szíkkal messzebb vannak mint a galaxisok

→ hogy lehetsz? Már a rövidlédős galaxisokban
is alig lehetsz 1-1 csillagot megkülönböztetni

vörösebbelődés: $z=0,16$ (nagyon nagy távolság)

Eddington: egy csillag luminositásának felső határa van,

ugyanis a termoplólasz fluid fotónakot termel,
ami miatt is nyomja a csillagot

$$L \leq c \cdot t$$

maximalis luminositas felett már miután
nyomja a fotonyomás az objektumot

→ a kvarárok luminositasára emel nagyobb!

Látható, hogy csak akkertálos felette lyuk lehetséges

(akkor a kecső tömeg 10%-a is szétsugárzódhat)

$E=mc^2$ alapján energia formájában!)

termoplólasz

fúzióval es ~0,7%

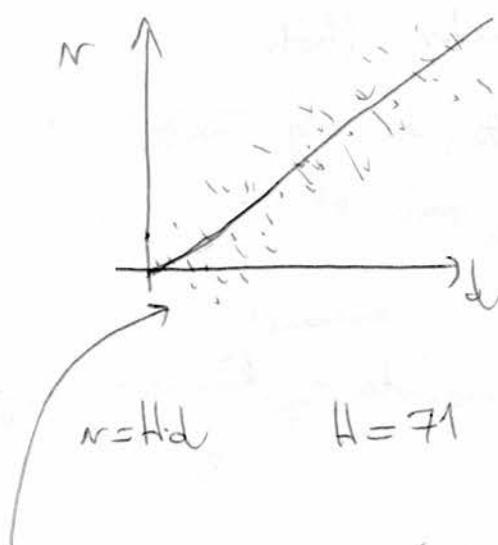
$$r = H d$$

vörösebbelődés

$$z = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \stackrel{\text{relatív}}{=} \text{melykorán a } r \text{-elődés nölt hullámhosszával}$$

($\approx \frac{v}{c}$) nemrelativistikus esetben

Hubble \rightarrow távolodási sebesség, távolsgy mérté:

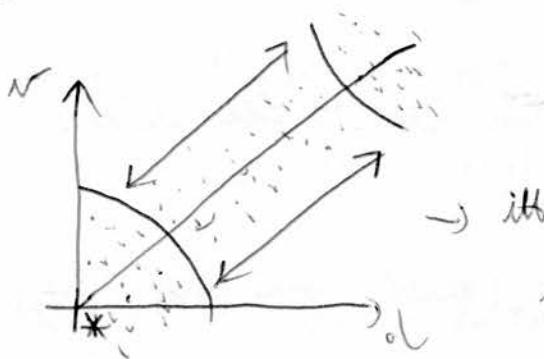


$$v = H d \quad H = 71 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{Mpc}} \quad \text{Hubble-Lemaître}$$

van számgalaxis is (pl. Andromeda), ami közelítik a visszatérő
peculiaris sebesség!

$$\text{Andromeda} - 130 \frac{\text{km}}{\text{s}} \Rightarrow -200 \frac{\text{km}}{\text{s}} \text{ pec. vissz.}$$

\Downarrow
a közelí rakkaron nem is csak a Hubble-tör. -t megtük
(és a távolin sem \rightarrow Nobel-díj)



\rightarrow itt nem tudunk pontosan távolságot
mérni

\Downarrow
Hubble-Lemaître bonyolultabb kozmologai
mérsek alapján hat. meg

$$z = 0,16 \approx \frac{v}{c} \Rightarrow v = 50000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \Rightarrow d = \frac{v}{H} = 700 \text{ Mpc}$$

en jóval távolabb van, mint a közelí galaxisok

fjállási modell (folyt.)

④  active galactic nuclear (AGN)
spiral letrajott, de még aktív a mag
= Seyfert-típusú galaxis

⑤ Spiral:
 a f.lyuk már beszűrte a könyörő sziget

⑥  ittköres

 összehódítás elliptikus galaxis

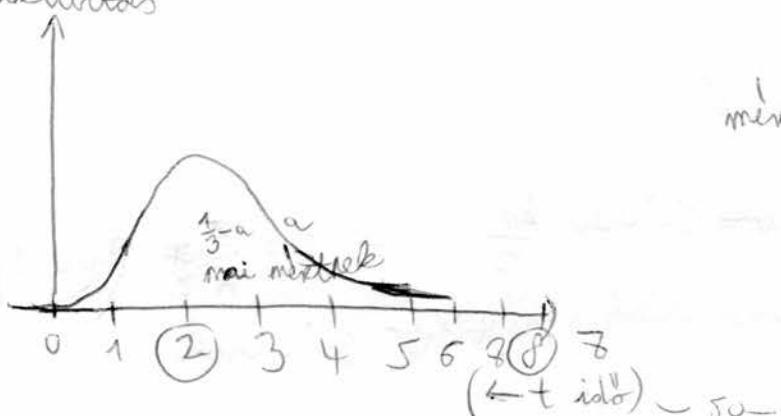
\Rightarrow kvarc \rightarrow spiralgalaxis \rightarrow elliptikus galaxis

"nincs"-
v morfológiai elágás:

- ahol nincs a galaxis ~~halmas~~ \rightarrow több itk. \rightarrow több elliptikus galaxis

Mivel nincsenek maradvány kvarcok (mivel csak kvarc lehetséges)?

aktivitás



$$\text{mérte: } a = 1 \rightarrow z = 0$$

$$\frac{1}{1+z} = a \quad (\text{univerzum mérete})$$

már lépést

Kvarspérides:

① - ⑤ : 10^7 évig működik a kvarár, majol az ötközések
nyugalmában van, de ekkor már igen összetettőlök az
anyag

11

Ma is vanak kvararok, de kisebb arányban!

(egy kvarár akár 1000 kvararcikluson is működhet az
ötközések miatt)

3) Milyen a galaxisok eloszlása az univerzumban?

- 1-2 perc megnéni egy galaxis irányt, DE a spektrumot felvenni törlőre is lehet → nem lehet pontosan felvenni a galaxisok 3D-s terjedését.
- Abell, 1958: galaxis-hálózat katalógus



2D- \rightarrow terjed

vannak simítások \Rightarrow olyan nagy volt
a simításége az egész többi galaxisainak
simításához képest, hogy nem lehet,
hogy csak véletlenesen láttunk pont egy
irányban enyit galaxist

1955: POSS (Palomar Observatory Sky Survey): az elso

teljes felmérés az égboltnak

(1400 iwegbemenő körülbelül teljes felvétel)

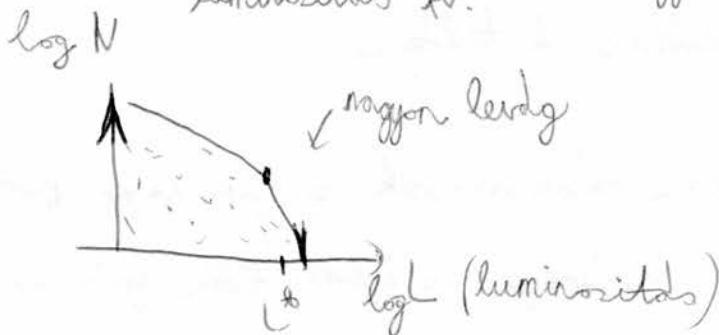
kibagya a Tejút csillagait, a belülről égbolton belül
 $(5 \geq -27^\circ, |b| \geq 30^\circ)$ 2712 db galaxishalmaszt talált
↑ ↑
ekvatorialis galaktikus
k.r. k.m.

→ galaxishalmasznak vette, ami $1,5 \text{ Mpc}$ nagyságú (kiterjedésű),
legalább 30 db galaxis van, és a legnagyobb magnitudojukról a magni-
tudó legfeljebb +2 -vel van el ($m+2$, ahol m a legfényesebb gal. magn.)

→ honnan tudta, hogy adott halmasznál mekkora $1,5 \text{ Mpc}$?

• nem tudta 1 galaxis hosszát megmérni minden ilyes
halmasznál, metsz az 2700-ba lett volna

• többséte, hogy a galaxis ^{felm.} legfényesebb galaxisai
luminositas fr. ugyanolyan fényesek.



a legfényesebbeket nem
(válik a leágazás
nincs felfelé kerítve)

m_3 : harmadik legfényesebb galaxis A galaxishalmaszon

↓ standard gyertyával tüköti

M_3

→ megmérte egy közel galaxishalmasz 3. legfényesebb galaxisának

• magnitudojat \rightarrow törölhető galaxiák magnitudoja \rightarrow halászok

- Hány galaxis van a galaxishalmazokban?

30-50

50-80

80-130

500 felett: rich galaxy cluster

- M87: p. Virgo halmaz, erkély superhalmaszkat alkotnak
- Lokális csoport: mi is ebber vagyunk, nagyon kevés galaxishalmaz (> 30 galaxis)
Andromeda, Tejútt + egyéb kisebb

osszehasonlítás: 60% 30% 10%

- Zwicky 1967: déli ég felén igezte az upparat ~ felmérést, mint Abell

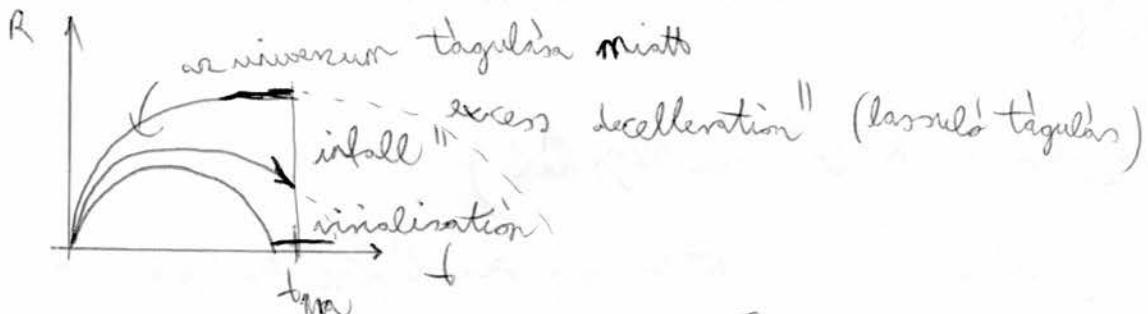
- galaxisdúság:

10^2 galaxis / Mpc^3 az átlagos $\frac{galaxis}{Mpc^3}$ dúság vagy az 10³ - 11 - a galaxis - 11 - a galaxishalmazokban

9. óra

4) A galaxishalmazok tulajdonságai:

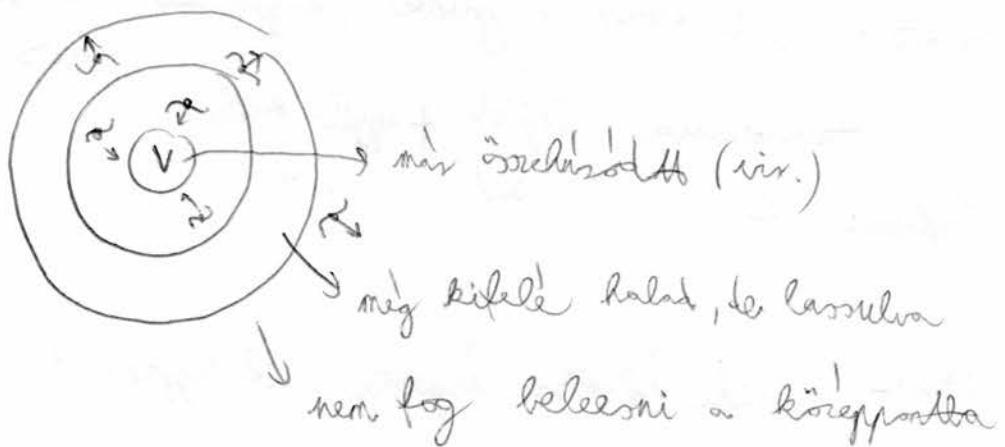
a) Kialakulában vonak a galaxishalmazok



a kereseti tágulás után:

- már összekötődött a galaxisgalaxis \rightarrow virializáció
- már - II -好玩 van a - II - \rightarrow infall
- lassul a tágulás, és később elkezd összekötődni

1 galaxisgalaxison belül is több réteg van:
azonosan elterül



b) milyen gáz van benne?

Ⓐ van gáz ✓ (eltérít)

Ⓑ $T = ? \Rightarrow M_{\text{cluster}} \approx 10^{14.5} \cdot M_{\odot}$



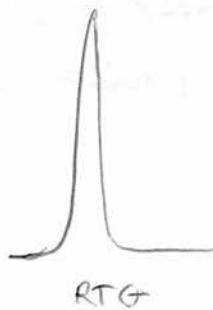
a látott galaxisgalaxis (vir.) nincs alkja,
ha a gáz termikus egységekben van (nem hiszünk
összetartóval, és nem is tagul)
 $T \approx 10^6 \text{ K}$

③ Megfigyelni? RTG (hom. sug. bol)

✓ miholdi boll (a RTG-t a föld legföre nem engedi h)

I

szigszári előford. \rightarrow RTG-ken nagyon magas!



A, B, C \Rightarrow „hűtői áramlások” (COOLING FLOWS)

① $\frac{1}{2} M_{\text{cluster}} = M_{\text{galaxis}} = M_{\text{gas}}$

② $L_{\text{X-RAY}} = \text{nagy}$

„jelentően hűl a gal. halmoz

③ $\sim 1-10 M_{\odot}^8 / \text{év}^{\frac{1}{2}}$ $\text{részben el a forrás felsől a hűlés miatt}$

10^{10} év alatt $10^{11} M_{\odot}$ hűlök el \rightarrow ez már számottevő (mit történik a többi gázal galaxissal? \rightarrow összefüggések leletei vannak? \rightarrow nem tudjuk)

de ha többen a gáz menetideje, többen a nyomas is belül

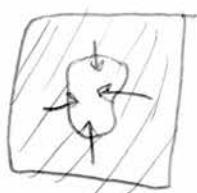
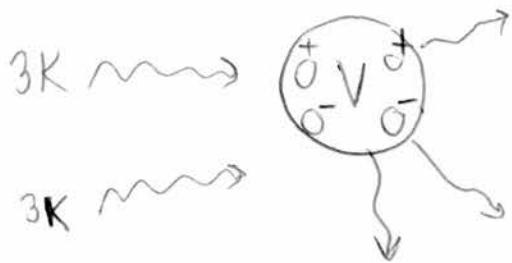
\Rightarrow hűleg gáz halad a centralizált centrum felé

(mentes ellen akkor belül gáznyomás a gravitációnak)



c) Sunyaev - Zeldovich - effektus:

komikus határoz. \rightarrow Szabadatol fotonhártya $\sim 3\text{ K}$
 $3\text{ K} \rightsquigarrow$ (radiotárcsák, mikroh.)



föld
a galaxishalmasban ionizált gáz van, amit
szorítak a fotonok \Rightarrow radiotárcsával

neglégelhető a galaxishalmas kepe



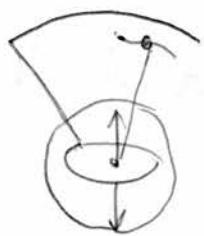
ALMA (Atacama Large Millimeter Array)

\rightarrow ez most is aktuális kérdés

Az univerzum nagyleptikus szerkezete

1) "CFA SLICE" (center for astrophysics):

~1980 : elso 30- \rightarrow galaxisokat \rightarrow 1000 galaxis koordinatáit
 Geller, Huchra, De Lapparent határozta meg



\rightarrow poláriság, meredekégi szög (θ, ϕ) ✓ \rightarrow par. pers.
 által meghatározott

\rightarrow távolság? \rightarrow Lajos

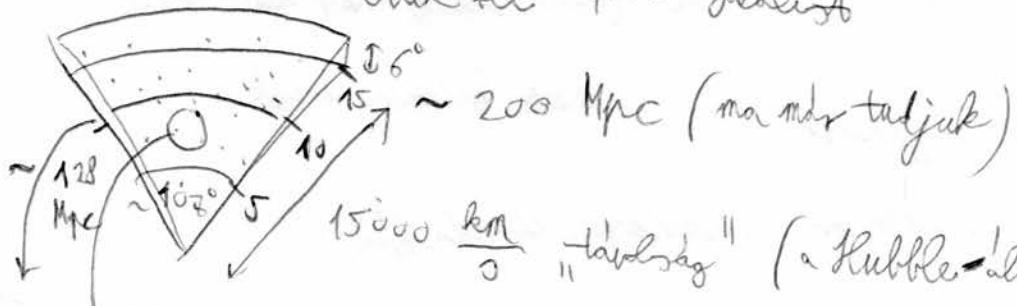
$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \rightarrow v = H \cdot d$$

↓

Hozzávalók összeholddba \rightarrow részleges \rightarrow távolság

mindegy 1000 (\Rightarrow sok galaxis: sok idő + sok pers.)

ezek belül vették fel 1000 galaxist



~ 200 Mpc (már maradják)
 $15000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ "távolság" (a Hubble-tállandó nem
 változik meg pontosan)

Great

Wall:

void:

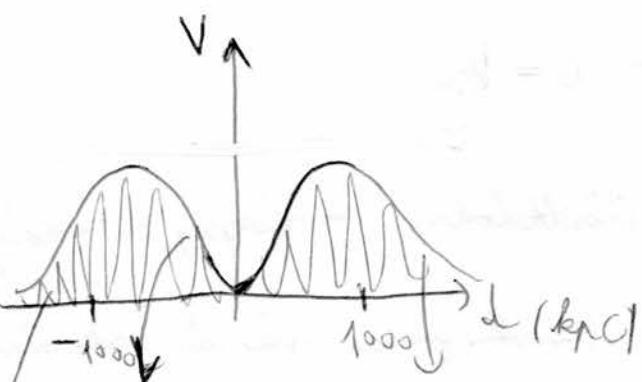
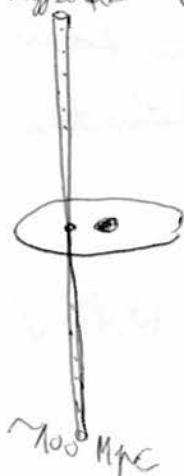
szűkülelő üres térfogat (üreg)
 a galaxisok

\Rightarrow csak csökkenés hisz reális kerüll a teljes 30- \rightarrow könyvtárhoval, de
 már ez nem volt homogen!

2) "PENCIL BEAM" (1990)

(BEKS)
↑
Szakai

- 1 negatív • 10 menter veszük fel a galaxisok eloszlását
- körülbelül 30-s, gyakorlatilag csak a tártszög
szintje
- viszont egy halványabbak is érhetők



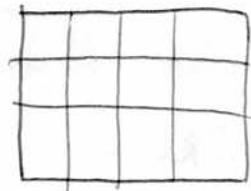
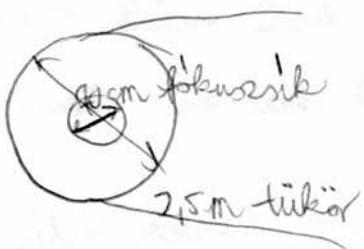
a nyilvánosan a tártszögben halványabbak
miatt nem láthatók
nincs negatíven viszont halványabbak
nincs a szintje (homogen eloszlás)

Már eloszlás! → Periodikus (~~100 Mpc~~) máris tila volt

300 Mpc -rel nagyobb struktúrákban már nem láttunk

(első határ → az universum kialakulása, ha még nem tudtuk jobban összeküldni, összeszedni a világgyalma)

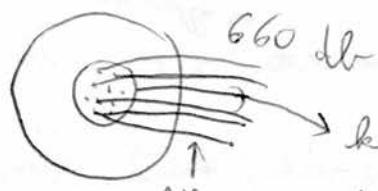
3) SLOAN digital sky survey (SDSS), 2000-2005
 (J. Gunn) (sdss.org)



(mosaik)
 CCD a fókuszíkból

parzitáló (scanning) mód: ha most akkor sebeséggel
 dörzsöl ki, ahogy az egy galaxisról körül halad,
 akkor nem kell újra fókusálni → az eggyel kölcsön
 hatásúk fókuszáló

10^9 galaxis → 10^6 látyszéssel gal. → többet többet mér



660 db
 körülötte a körülöttő, de pont oda vezetek
 egy fiberrel (egy galaxis), ahol a fénykép eljön
 vissza a galaxisról → a mikrofotónak 1db állt

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0,1$$

felbontásuk → 660 db mikrofotónak / db



nagy területen
 (tavolabbi csökkenésben lényegelőbb látószélek)
 → sokkal lebennettek eggyel többet → több felvétel működés

Rányad töre es a max. belátható terek?



40 mrd féljár →
atmos.

~20 mrd féljár sugarú gömb



az mi 13,7 mrd ével előtt 13,7 mrd

mi 1000 Mpc ~3000 Mlyar féljár hossz, ma már nemről van

=3 mrd féljár távolságra bekürtöttük el ... → $\frac{1}{4000}$ szisz. részük kb

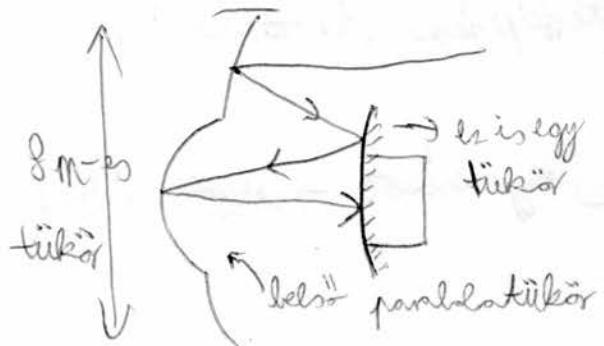
a belátható univerzumnak

jövbeli projektek:

4) PAN-STARRS (panoramic survey telescope array - rapid response system):
(2011-2013)

- 5 nap alatt 3π steradiant féljárba, de nem minden távolságot
- 3 év alatt készít el a teljes (mely) tükörét
(5 naponta felnyílik a 3π steradiant → mi várunk extragalaktikus skálán? (pl. supernovák, kvarcs féljeleti skálán) mitől)
- a katonaság föld poliját kezeli a tükörökkel is kevesen

5) LSST (Large Synoptic Survey Telescope) (2022-2032)



8m/s → nagy felület → nagyobb féljárítás

synoptic → minden le fog felnyílni

lehelyében lépjen, mint a PAN-STARRS, csak nagyobb féljárításra szolgál

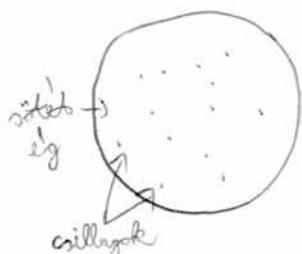
Kosmologia

az universum keletkezésének és fejlődésének tudománya

1) Oberes-paradoxon:

a világgyűrűnél azt gondoltuk, hogy:

- statikus
- Végtelen időben is telben (rötkerület)



Baj: az egész égbolt világos körre legyen, de nem ezt láttuk

→ galaxisokba töltöttük a csillagokat: ez se jó magyarázat
(akkor galaxisokat látunk mindenfelé)

→ Új magyarázat: a csillagok végtelen idő alatt felhaladnak,
de is ragasztanak

2) Kosmologiai elv:

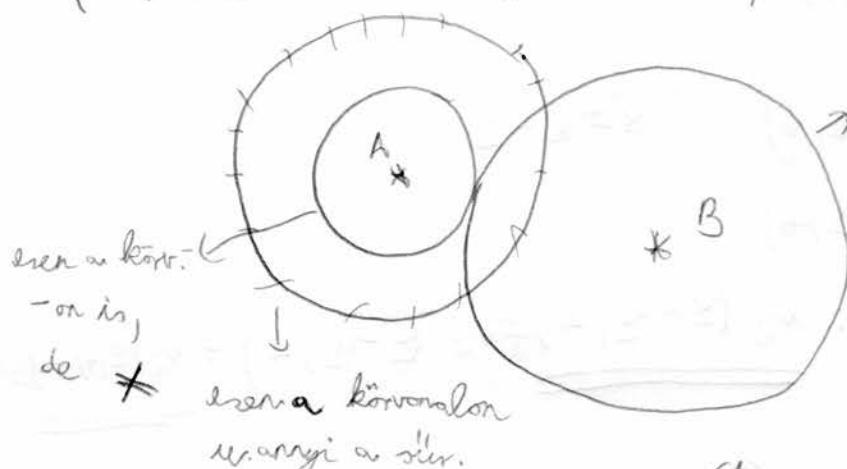
postulátum: az universum homogen & isotrop

his leptékben nem homogen az universum (míg a csillagok
leptékben sem), de 300 Mps -enként már igen (nincs eneléggé
struktúra)

+ Kopernikusi elv

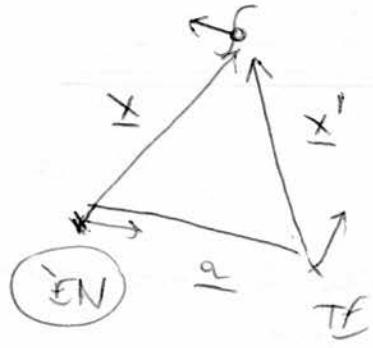
Minden pontjából nézve homogen és isotrop

(Kopern. elvvel még az isotropia):



ezek a köörön belül is
egyéb pontban is
de *
ezek a köörön belül is
ezek a köörön belül is
de *
(megj.: homogen \neq isotropia)

$$\begin{matrix} 0 & \phi \\ & \phi \\ 0 & \phi \\ & \phi \end{matrix}$$



$$x = a + x'$$

a sebességment milyen lesz?

$$v_i(x, t) = \underbrace{\dot{a}_i}_{\parallel} - \cancel{v_i(a, t)} + v_i'(x, t)$$

$v_i(a, t) = 0$ $v_i(a, t)$ járulékos
nála is sebesség nála
kepess

egyidőbeni megfigyelés: csak az universum (tagolásából) miatt magasabbál rövidebb sebességekkel foglalkozunk, a járulékos, ezeket képeli sebességekkel nem (pl. Dunn sebességet úgy minem, hogy ha belengerek, megnézem melykorán sebességgel haladtak, ha nem isrok)

$$v_i(x, t) = v_i(a, t) + v_i'(x, t)$$

$$v_i'(x, t) = v_i(x, t) - v_i(a, t) \quad x' = x - a$$

$$v_i'(x-a, t) = v_i(x, t) - v_i(a, t)$$

kormányzatia elv alapján: $\underline{\underline{v_i(x-a, t)}} = \underline{\underline{v_i'(x-a, t)}} = \underline{\underline{v_i(x-t) - v_i(a, t)}}$

\Rightarrow lineáris a sebességek

$$v_i = c_{ik}(t) \cdot x_k$$

körölogiai

$$\text{elv alapján: } c_{ik} = \frac{1}{2} (c_{ik} + c_{ki}) + \frac{1}{2} (\cancel{c_{ik}} - \cancel{c_{ki}})$$

$$c_{ik} = \gamma_{ik} + \cancel{\alpha_{ik}}$$

$$v_i = \gamma_{ik}(t) \cdot x_k$$

az isotropia miatt nincs rotáció
(forgatás) $\Rightarrow \omega_{\text{sim.}} = 0$

$$\gamma_{ik}^1 = \gamma_{ki}^1$$



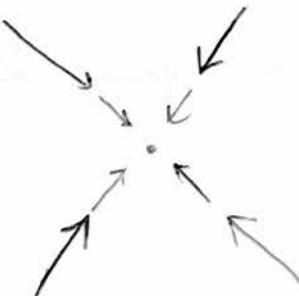
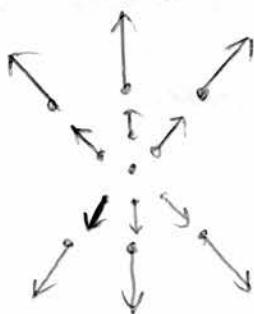
diagonálisáltak

$$v_i = \gamma_{ii}(t) \cdot x_i$$



a körm. elv miatt (isotropia) a földönkben levő elemek
orszak kell legyenek

$$\Rightarrow \boxed{v_i = \gamma(t) \cdot x_i}$$



\Rightarrow tagolható vagy szükíthető az univerzum, a sebesség a
területen lineárisan függ, de idebeli változás nem irreduk.

3) hidrodinamikai modell:

$$\text{zrnm.} \left\{ \begin{array}{l} \text{kontinuitási egyenlet: } \partial_i \rho + \partial_i (\rho v_i) = 0 \\ \text{elvél. Euler-egyenlet: } \partial_t \dot{\rho} + \dot{\rho} \partial_i v_i = \dot{\rho} + \rho \cdot 3 \ddot{v}(t) = 0 \end{array} \right.$$

Amagereibb miatt zér. nem függ a heliotol

$$\partial_t v_i + v_i \partial_i v_i = - \frac{1}{\rho} \cancel{\partial_i p} - \partial_i u \quad \leftarrow v_i = \gamma(t) \cdot x_i$$

nyomás potenciálból
a részecskék súlyosból
erőtereből erőből

$$x_i (\dot{\rho} + \dot{\gamma}^2) = - \partial_i u$$

$$\downarrow \partial_i \left(\begin{array}{l} \text{Lapl.-Poisson-egyenlet (gravit. tr.)} \\ \partial_i \partial_i u = 4\pi G \cdot \rho \end{array} \right) \leftarrow \text{fizika}$$

$$3(\dot{\rho} + \dot{\gamma}^2) = - 4\pi G \cdot \rho$$

$$\dot{\rho} + \dot{\gamma}^2 = - \frac{4\pi}{3} G \cdot \rho$$

$$\gamma \equiv \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} \text{ alakul} \quad \left(\leftarrow \gamma(t) = - \frac{1}{3} \frac{\dot{\rho}}{\rho} = \frac{\frac{4\pi}{3} \cdot (-\rho) \cdot R^{-4} \dot{R}}{\frac{M}{R^3}} \cdot \left(-\frac{1}{3}\right) = \frac{\dot{R}}{R} \right)$$

(legyen pl. egy nagy galaxis halmar sugara $R \rightarrow$ rövid időbeli megváltozás az $\gamma(t)$) (mivel hisz.: dlt. rel.)

kontin. egenlethező:

$$\dot{\rho} = - \rho^3 \cdot \gamma(t)$$

$$-\frac{1}{3} \frac{\dot{\rho}}{\rho} = \gamma(t) \rightarrow \gamma(t) = -\frac{1}{3} \frac{d}{dt} \left(\frac{\dot{\rho}}{\rho} \right)$$

$$-\frac{1}{3} \frac{d}{dt} \left(\frac{\dot{r}}{r^2} \right) + \dot{r}^2 = -\frac{4\pi}{3} G \cdot \rho$$

$$\boxed{\frac{d}{dt} \left(\frac{\dot{r}}{r^2} \right) = 4\pi G \cdot \rho + 3\dot{r}^2}$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \left(\ln \rho \right) = 4\pi G \cdot \rho + 3\dot{r}^2$$

$\underbrace{\quad}_{\rho \text{ meghatározása}} \geq 0 \quad \underbrace{\quad}_{\geq 0} \geq 0$

⇒ nem tudunk stacionáris megoldást kaphni
(ezekben a ρ is 0 lenne)

nem lehetséges elhinni az eredményt

Einstein: a "fizika" részt kell megőriztetni

$$4\pi G \rho = \lambda + \overset{\uparrow}{\underset{\text{kamolyainak illendő}}{\delta u}}$$

ES $\rho = M \cdot \frac{f(x)}{r^3}$ tömegeloszlásból induljunk ki M

$$\nabla^2 u + \lambda = 4\pi G \cdot \rho = 0$$

$\uparrow \quad x \neq 0 - \text{ban}$

$$\frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} (ru) = -\lambda$$

$$\frac{d^2}{dr^2} (ru) = -\lambda r$$

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

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

$$F = -u' = \frac{1}{3} \lambda + \frac{B}{r^2} \leftarrow -MG := B \rightarrow \text{"harmonikus" gravitációs törz}$$

$$F = \left(\frac{\gamma}{3}N\right) + \left(\frac{-MG}{r^2}\right)$$

\rightarrow elöl bijtos stacionárius megoldás

tanított

leg!

kis távolságban nem érhető,

nagy távolságban erőltetve

(\sim paraméterek megfelelő választásaval)

(lehetőleg minél jobban kiegészítés is)

DE Hubble-törvény: $v = H \cdot r$

$$\begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \\ \downarrow \\ H = \dot{s}(t) \quad !!! \end{array}$$

Amikor ezt a képet látni (lubi modell)

↓

Einstein-visszavonata a $\lambda \rightarrow$ kiegészítést \rightarrow az universum nem
kinetikai $s = \frac{R}{t} - \text{konst}$ (St. old.) stacionárius!

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

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi}{3} G \cdot R \cdot \rho = \underbrace{\left(\frac{4\pi}{3} \rho \cdot R^3 \right)}_{:= M} \frac{G}{R^2}$$

$$\ddot{R} = -\frac{MG}{R^2} / SR \quad \begin{aligned} & (\text{ha } R \text{ egy galaxis hálózat sugara,} \\ & \text{er a tömege}) \end{aligned}$$

$$\boxed{\frac{1}{2} \dot{R}^2 - \frac{GM}{R} = E} \quad (\text{integr. konst.})$$

Friedmann-egyenletek

kinetikus + pot. = össenergia alakba

E lehet \oplus, \ominus is \rightarrow ezekre különböző megoldások

adódnak

\downarrow
az universum röntgeni határa meg

Mécs: Hubble-konst. \rightarrow kin. tag

röntgeng \rightarrow pot. tag, de ekkor kell több anyag, ...

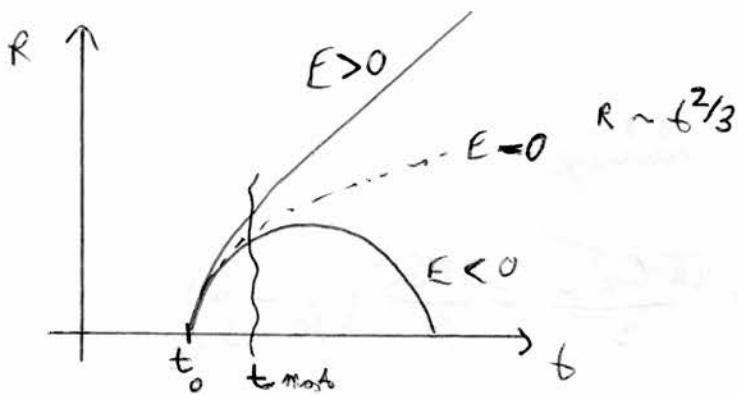
$E \leq 0$: tagul, és gyorsulva Θ , vagy ∞ -ben áll meg (0)

$E > 0$: viszazuhán (lesz a tagulás)

11. dráma

(ism.)

$$\frac{1}{2} \dot{R}^2 - \frac{MG}{R} = E \begin{cases} E > 0 \\ E = 0 \\ E < 0 \end{cases}$$



- $E=0$: $R = \left(\frac{9}{2}GM\right)^{1/3} (t-t_0)^{2/3}$ $\rightarrow \infty$ -ben 0 a meredekég
- $E < 0$: $R = \frac{GM}{2|E|} (1 - \cos \tau)$ ahol $t-t_0 = \frac{GM}{(2|E|)^{3/2}} (\tau - \sin \tau)$
(ciklois)

$$- E > 0 : R = \frac{GM}{2E} (\ln T - 1)$$

$$\text{ahol } t - t_0 = \frac{GM}{(2E)^{3/2}} (\ln T - 1)$$

- Melyik valóul meg az universumban?

$$H = 71 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{Mpc}}$$

$$n = Ht_0$$

$\ln t^{2/3}$ -osan tagolt az universum

$$n = Sx$$

$$\downarrow$$

$$T_H = \frac{1}{H} \approx 21 \cdot 10^9 \text{ év}$$

$$\text{ahol } S = \frac{R}{R}$$

$$\frac{\frac{2}{3}t^{4/3}}{\dots t^{2/3}} \sim \frac{2}{3} \frac{1}{t} = \frac{1}{T_H} = H$$

$$t_{\text{most}} \approx 13 \cdot 10^9 \text{ év}$$

Mi mi kell a Rubble-t a Rubble-ellenségez

van ellensége a

ellenséget, és megtudjuk, időben változik

$t^{2/3}$ -os taguktól

hogy melyik E valóul
meg

($E=0$), de nem lynn

nagy, hogy el tudjuk lönteni,

melyik valóul meg

- a Friedmann-egyenlet:

universum állására

$$F = \frac{1}{2} \dot{R}^2 - \frac{\frac{4\pi G}{3} \rho^2}{R^2} = \frac{1}{2} \dot{R}^2 - \frac{4\pi G \rho^2}{3} = \frac{4\pi G \rho^2}{3} (\rho_c - \rho)$$

$$\text{ahol } \rho_c = \frac{3}{8\pi G} \left(\frac{\dot{R}^2}{R^2} \right) = \frac{3H^2}{8\pi G} = \frac{3}{8\pi G T_H^2}$$

ρ_c (kritikus állás) meghonja, hogy adott állására universum

adott tömegű részegy (T_H) esetén a gravitációs legység
a kinetikus tagból. (k: görbület)

$E > 0$	$\rho < \rho_c$	$R < 1$	$(k > 0)$
$E = 0$	$\rho = \rho_c$	$R = 1$	$(k = 0)$
$E < 0$	$\rho > \rho_c$	$R > 1$	$(k < 0)$

az elso
problem (E)

visszatérítések
(áttagolások)

!áttagolások

$$R = \frac{\rho}{\rho_c}$$

Mennyi ρ_c értéke?

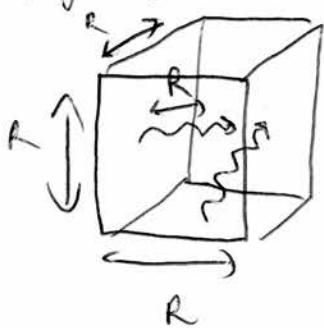
$$\rho_c = 10 \frac{H_{\text{atom}}}{m^3} \quad \sim \text{Hubble-állandóval}$$

$\rho = ?$ (áttagy részeg) \rightarrow nehez méri

R visszatérítés az önműködés!

$$\text{Súly} \sim \frac{1}{R^3}$$

Sugárás:



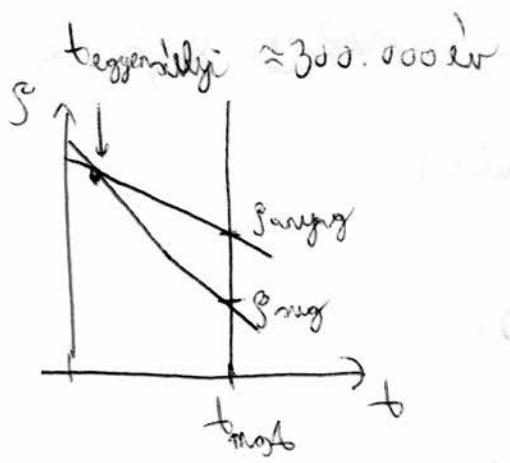
$$\lambda \sim R$$

$$n \sim \frac{1}{R}$$

$$\lambda r = E_\lambda \sim \frac{1}{R}$$

$$\text{Sérgéria} \sim \frac{1}{R^4} \quad (\text{mert } n \sim \frac{1}{R^3})$$

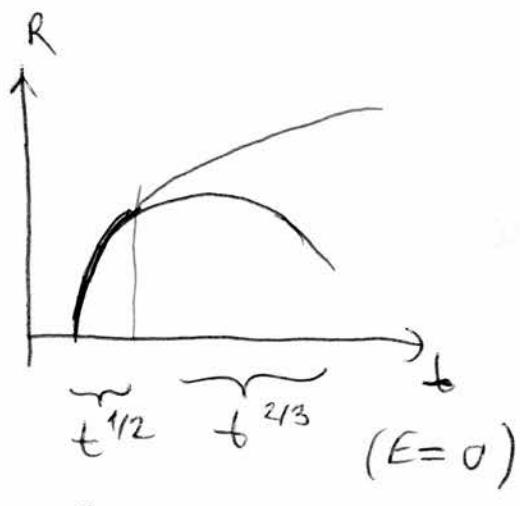
(mert a térfelület az energia tökében)



Több olyan időpont, amikor a fotonok energia ^{energia} részlege megegyezett az anyag részleggel!

Ekkor az energia részlege dominált!

$$\Rightarrow R \sim t^{1/2} \quad E = 0 - \text{kor} \quad \text{tömegesülyi elott!}$$



nem nagy különbség

$t = 10^{-42}$, -ig tudjuk vizsgározni az universum történetét,
elölle a nagy "százeg" miatt nem tudjuk kezelni.

Vissza, hogy mi volt elölle, nem tudjuk pontosan!

Big Bang elmélet

Csak arra ismét állíthatunk, hogy $13 \cdot 10^9$ éve sokkal simább volt,
(ismeretlen)
mint ma, de nem mondtuk, hogy volt egy másik közeppont,
ahonnan kiindult minden.

kT	T	R/R_{ini}	t
1 GeV	10^{13} K	$2 \cdot 10^{-3}$	10^{-6} s
1 MeV	10^{10} K	$2 \cdot 10^{-10}$	1s
1 keV	10^8 K	$2,7 \cdot 10^3$	22 ms
1 eV	10^4 K	$2,7 \cdot 10^{-4}$	40 000 év
1 meV	$2,7 \text{ K}$	1	$1,37 \cdot 10^{10} \text{ év}$

Atötörések

t : Universum kora

R : -II- mérete

T : -II- önműködés

(k: Boltzmann - áll. \rightarrow

\rightarrow nem határozott időben,
a hőmérséklet csak a

szekrények miatt változik
(ez)

Kincseitől ismertek (3 alapjellek)

① $v = H \cdot d \rightarrow$ Hubble-t. minden irányban összefüggés

② Universum ~ 38000 éves, amikor $(\mu^+)^e^-$ H atomok keletkeznek
(rekonklinálás) $\Rightarrow t_{\text{rekonk.}} = 38000 \text{ év}$ (ez nem túl összessége, mivel a legtöbb atom már korábban keletkezett, vagy $t_{\text{rekonk.}} = 303000 \text{ év}$)

rekombináció = legyelődődés (primordialis nukleosintetikus)

a fotonok "szabadon" hajtják az π^+ (nem szabadnak a nukleonok várományos töltött részecskéken)

$$R/R_{\text{max}} = 10^{-3} \quad \text{akkor}$$



→ Penzias - Wilson (1965) → Rom - Rock rádióantennával kíméltek az α test → mindenkorban mikrohullámú segédsugár (rájt) érhetők

C. M. B. R (kosmikus mikrohullámú határvonalának) → ez (fotonláncok)
~ 3 K -nek "közönhető"

(3) Könnyű elemek előfordulási gyakorisága:

primord. nukleosint. $\rightarrow H \rightarrow He \rightarrow \dots$

tömegarányai

$H \sim 75\%$

$He \sim 25\%$

más < 1%

eddig a színes lezárlás
a hőm. és a részleg, hogy néhány
nálunk többi elemet összegzni

- primordialis nukleosintetis minden Csak H és He keletkezett
néhány elemet csak nincs csillagokban
→ a mostani tömegarány ezt igazolja

Problémák

1) Horizont-probléma

1990 COBE: 5-tizedesjegyig mitte a kosmikus hőhözeg.

Cosmic Backg. működés
Explorer

+ vizsgálta, hogy van-e fluktuáció a fotonok homogénetettségén (ha nincs fluktuáció az anyag elosztásban (magasabb sűrűségben, ha magas sűrűségben), akkor a fotonok homogénetettsége (potenciálvölggyel kijelölés miatt) is kell most lennie)

Baj: a horizonton 20-20 mrd. fény évvel ezelőtt

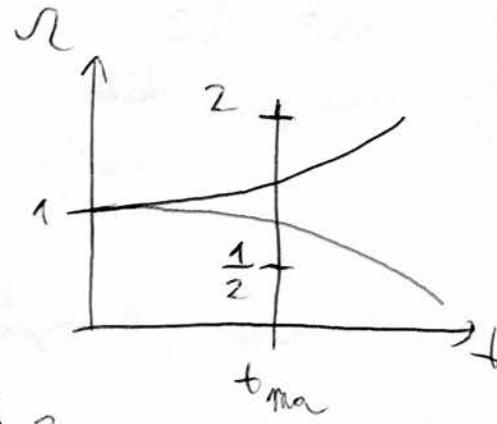
mit a fotonokat, de 5-tizedesjegyig Az irányban megyezettség
+ => Rögz lehet, hogy kiegészítődött a hom.?

(Kér. nincs kausalis kapcsolat.)

2) Finomhangolás:

$$1 - \frac{c}{s_c} \sim t^{2/3}$$

$$1 - R \sim t^{2/3}$$



azaz ittuk, hogy $\frac{1}{2}$ és 2 között van => 6 tizedes pontossággal 1 kellett, hogy legyen a keresetekkor "finoman be volt hangolva $1-x$ "

- ha $\Omega = 1,01$ (\rightarrow záradni fog az universum): az universum élettartama 20 perc lenne volna!
- ha $\Omega = 0,99$ \rightarrow olyan sebességgel haladna az universum, hogy semmilyen struktúra nem tudott volna kiaknázni!

3) Struktúra eredete:

Cobe \rightarrow kis hosszúságokon viszont megvan a struktúra, pedig itt ki kiene egyszerűbb elmondani

ebből származik a mai struktúra

\hookrightarrow Guth, 1981: infláció - elmélet

Mi van, ha Einstein $\lambda \rightarrow$ javadatlan meglévő volt?

\rightarrow Friedmann - egyenletek: $(\Lambda + 4\pi G\rho)$

$$\frac{1}{2} \dot{R}^2 + \dots = \rho R^2$$

$$\frac{\dot{R}^2}{R^2} = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{\Lambda}{R^2}$$

$\sim \frac{1}{R^3}$ $\sim \frac{1}{R^2}$ jövőbeli R^0

$\frac{\dot{R}^2}{R^2}$
 kinetikus
tag

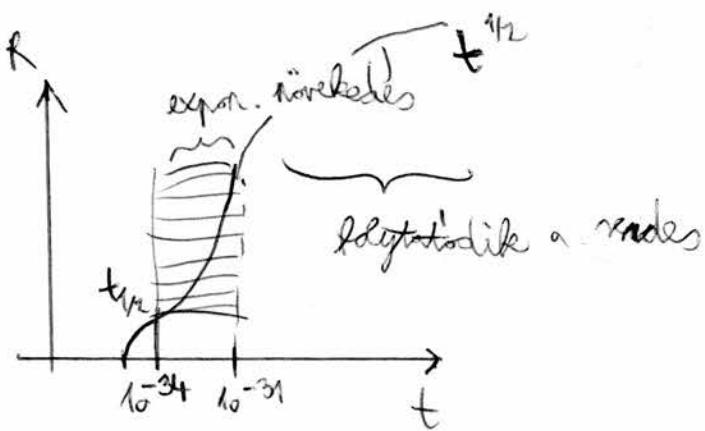
$\frac{8\pi G\rho}{3}$
 gravit.
energia

$\frac{\Lambda}{R^2}$
 összenergia
"vakuum"
energia

Ha kitaggol az universum, R megnő \Rightarrow a jobb oldalon csak

az $\frac{\Lambda}{3}$ tag marad!

akkor $R \sim e^{\frac{t}{3t}}$



gyakorlatban minden bármelyik egy fázisátalakulás, amikor a teljes $t^{1/2}$ is anyaggal valik (ezt a Higgs-boson felelő)

az inflációkkal az összes probléma megoldja!

1) Horizont-problémák

$t^{1/2}$ -el kiszabott az mag is a sugárás, mert az Universum kayabosságával gyorsabban kitörött, de kerülhet a horizont belül visszatér → többet termálizálódni

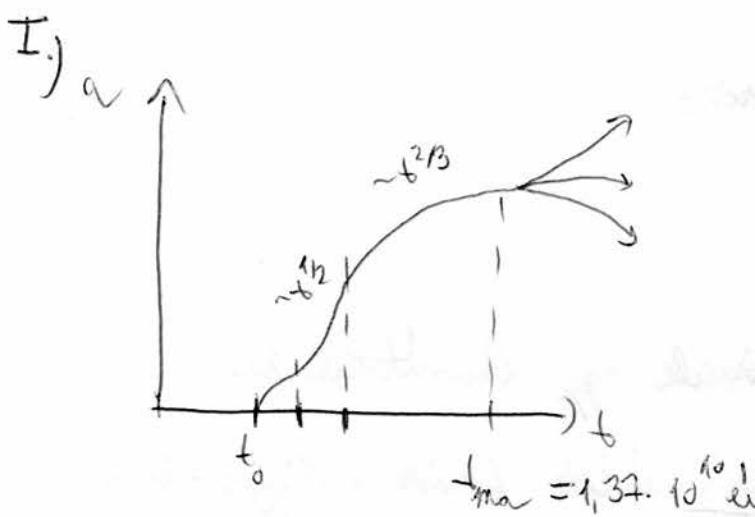
\Rightarrow most viszazzuk a termálizálódott szig.

2) finomhang.

$E_{kin} = 2 \cdot 10^0 \cdot 002$ Δ -tól annyi aránybelükre hogy elhaladt a kerületi (nem leálltott) arány nagyjából különlegélt

(jövőben ~ a nagy tölgelás miatt)

3) struktúra: makroskopikus méretűen dúsított kvantumfluktua-
ciókat!



$$\Omega_{\text{total}} = \Omega_m + \Omega_r + \Omega_\Lambda \stackrel{?}{=} 1$$

$$\Omega_{\text{total}} \stackrel{?}{=} 1$$

$$\Omega = 1$$

$$\Omega_{\text{anyag}} := \Omega_m$$

$$\Omega_{\text{radiáns}} := \Omega_r$$

$$\Omega_{\text{vakuum}} := \Omega_\Lambda \rightarrow \text{még ma is lehetséges!}$$

Ha $\Omega_{\text{totál}} = 1$, akkor formulánnal (jövőbeli Ω) $\Omega_K = 0$, mert

$$1 = \Omega_m + \Omega_r + \Omega_\Lambda + \Omega_K$$

$\sim \text{energia} \}$

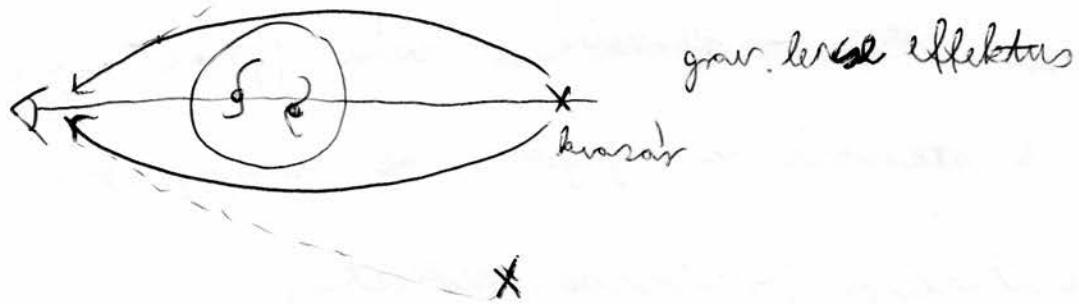
$$\Omega_{\text{total}} = ?$$

$\Omega_r \approx 0$ (ma más keves járványos ad a sugárzási energia)

$\Omega_m \sim 0,3$ (az alapján, amit látunk + több anyag)

több anyag: (emlékeztető) galaxis színen keringő villás
szerves akkor, hogy $10 \times$ annyi anyag közel kell
kerülni, mint amennyit látunk.

super-galaktikus halomoszokban is lehet több anyagot lecsillani



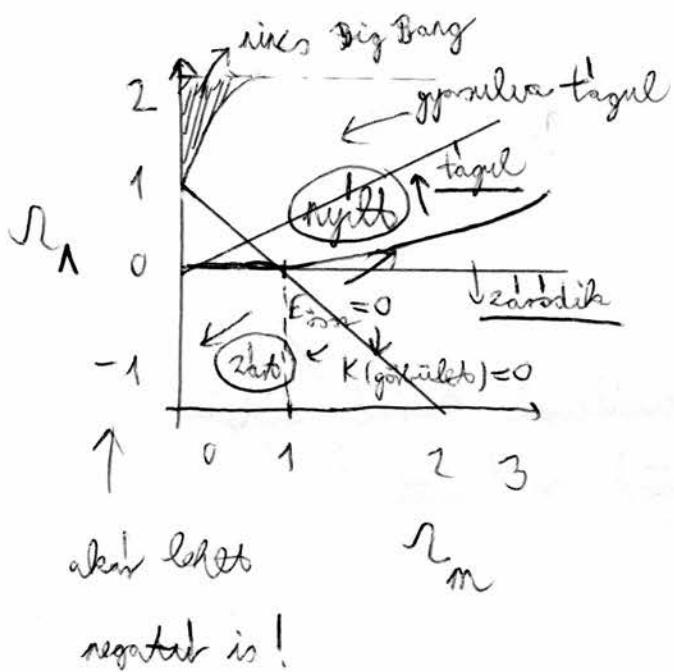
a lecsillítés alapján teljes tömeg

tömegsugár alapján \rightarrow lecsillített tömeg

(\Rightarrow akár 200 x annyi több anyag is lehet, mint anyag a superhalomoszokban)

\downarrow
de $\sim 0,3$ felőlött jö lecsill.

$$\begin{array}{c} 0,25 \quad 0,05 \\ \sim \quad \sim \\ \text{több} \quad \text{minimális} \\ \text{anyag} \quad \text{anyag} \end{array}$$



akár lehet

negatív is!

zűrös \neq zavodik

nyílt \neq tagadik

\downarrow
ezek a geometriaiak (jövőbeli)

vonalakkal

lehet zűrös geometriai, tagadik; nyílt geometriai, zűrös universum, ...

szemikus mikrosztilláns hőtervezetűs fluktuációja

szem. μ -szintű hőterv. \rightarrow rekonstrukció során ($p^+ + e^- \rightarrow$ atom)
 $\sim p$ (fotonok) beszabadítottak az anyagról, de az anyagról
volt his fluktuációja (\rightarrow universum összesete)

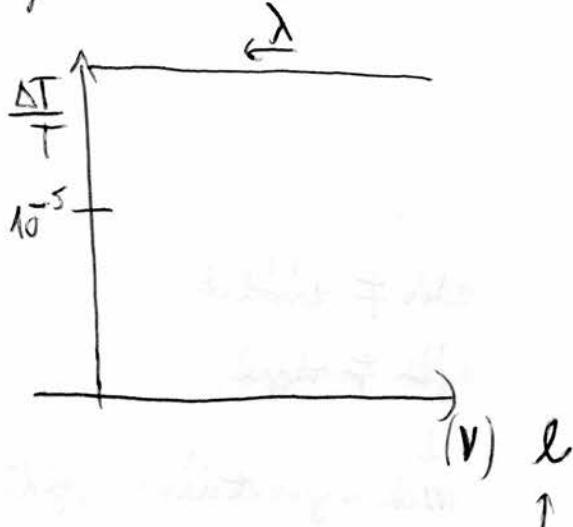
$$1990 \text{ COBE} \quad \frac{\Delta I}{I} \approx 10^{-5} \text{ fluktuáció} \quad \checkmark$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta I}{p} \approx 10^{-5} \text{ anyagfluktuáció}$$

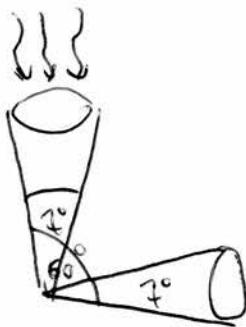
ezekben volt a szemelikció idejében
 \sim "hőfluktuáció"

(valószínűleg kvantumfluktuációk körülle)

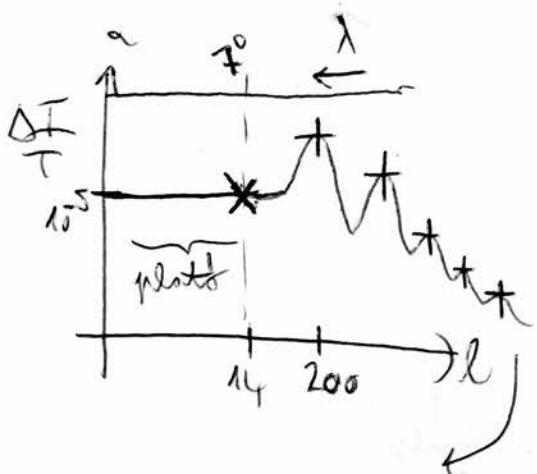
Mérjük a fluktuációt: ez hőtől független!



minél nagyobb λ , minél harmonikusabb rezonans létezik
annál hullámosság \hookleftarrow valamit a légiót sugárzott



(komparatív módon mérő: abszolút
hőm. -et nem tudunk 10^{-5} -es
pontossággal mérni \rightarrow egy sf.
irányhoz képest mérünk)



Lényeg a θ° alatt észak-sugárzás
összintegráltja

elm. rádióval alegyén akustikus csillagok "lánca"
a spektrumban \rightarrow ezek helye és értéke alegyén a
Rubble - Allardhoz, $N_{\text{total}} \sim 6 \dots$ tudnánk mérni
(\sim rekonstrukciós ideje)

13,7 milliárd éve a horizont sokkal kisebb volt, mint
most \rightarrow a sugárzás közül annak volt nagy amplitúdója,
ami az un. adózás egről hullámzásainkban fűt el (remízes)

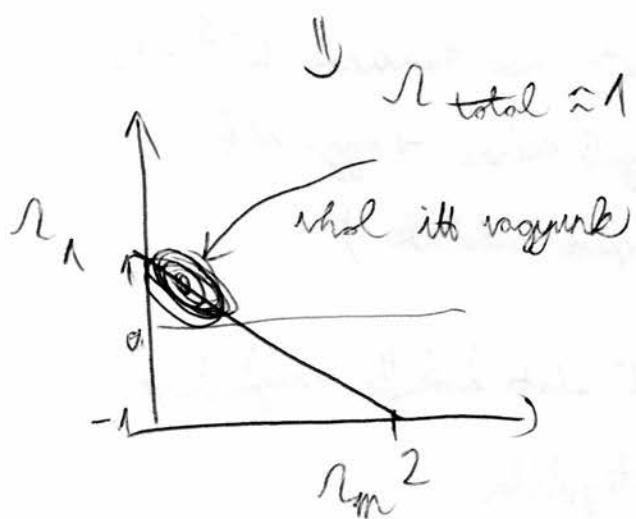
WMAP $\rightarrow 0,1^{\circ}$ földszín \rightarrow az előző harmadik alk. csillag
(2000)

tudja mérni

\downarrow
meg is találhatók! ?

Rubble-kör \rightarrow a tagolás miatt a 13,7 milliárd éves, k_B^{H} hőre
kérhet? (akkor még alatt látom most) \rightarrow ez figye H-Vel

Ω_{total} megnövehető az elso 3 ciklust



Planck - Kiszonda (2010) 74., 5., 6. ciklus

Boomerang → negatívhez ar. elso ciklust
magaslegkörű ballonkkal



viszonylag rövid időn
ugyanoda a ballon

II) Ia típusú supernóvák (Sn)

→ standard gyertyák (tudom az abszolút fényességet →
stárságmeasures)

I_b, I_c, II → nagyfönegű csillag

I_a → lehér töpe magala mielőn meggyőz a tömör bőrök
felületeit (kettőcsill. rendszerek) → $1/4 M_{\odot}$ -nál felborban
(mindig enyimel)

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} \cdot \frac{c}{H} \Rightarrow d \text{ (távolság) } \leftarrow Hd = v \leftarrow \frac{c}{c} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

• zök galaxis



zök supernova $\rightarrow I_a S_n \Rightarrow d$ megs következő!

• $I_a S_n$ (nem Hubble-tr.-el)

$$\text{zökéje} \Rightarrow \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \Rightarrow v \text{ megs}$$



a Hubble-tr. -t ez alapján lehet meghat.!

DE távoli supernovákra $H \sim 50 \frac{\text{km}}{\text{Mpc}} \cdot \frac{1}{z}$ lehet

Hogyan lehet ez?

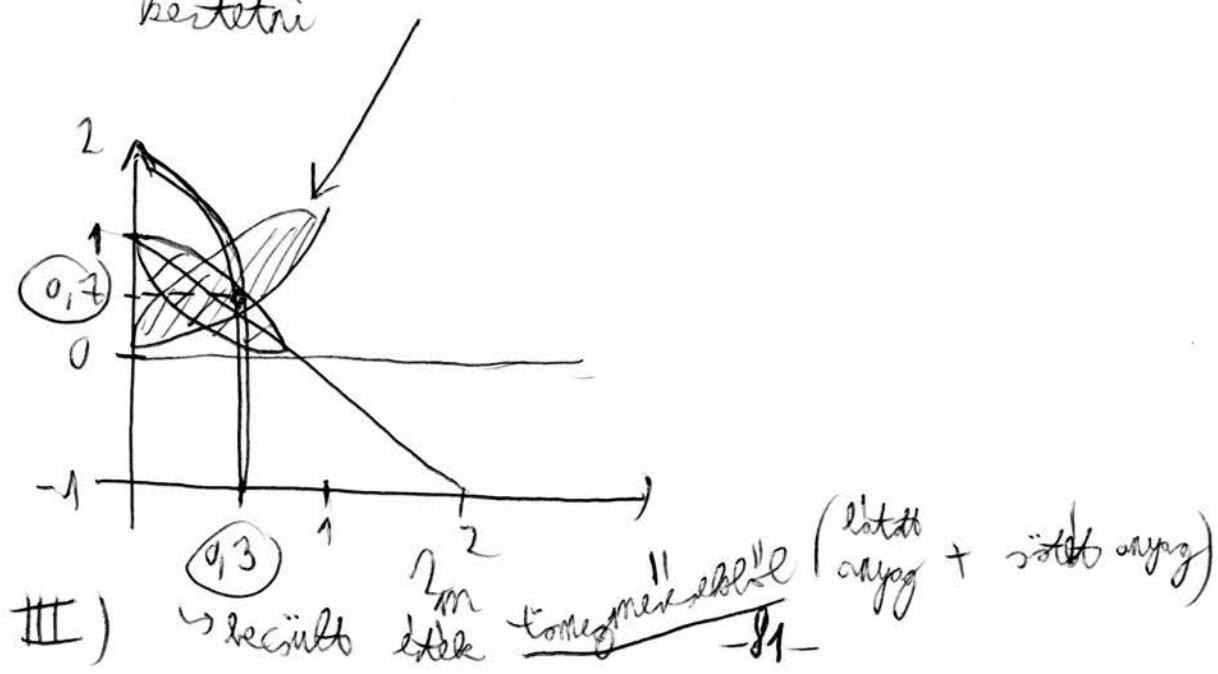
Ha d távolság van, mint amelyre van v = kisebb

H -kel, hogyan van v -t kapniuk



d távolság van $\Rightarrow \sqrt{r_1^m} \text{ kombinációja}$
 v (tagadás) lehet enél követ-

kezdetű



$$\Rightarrow [R_1 \approx 0,7]$$

sötet energia

$$[R_m \approx 0,3 \quad R_{\text{total}} \approx 1]$$



Mi es? Nem tudjuk.

újabb inflációs remetánkéi tágunk



exponenciális tágulás

