

zsolt - frei.net / teaching

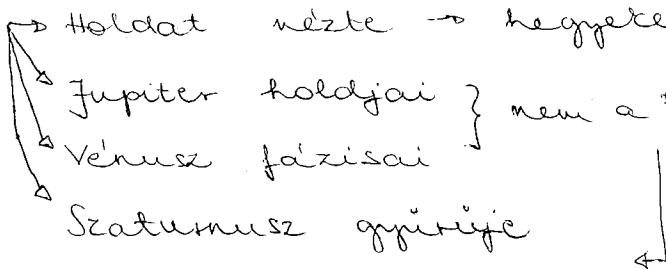
fogato ora : Kedd 10-12 3.86 frei @ 2solt-frei.net

Kaufmann : Universe , Petrovai K. Kosmikus fizika

irásbeli vizsga → Frei Zs., Patkós A.: Inflációs törz.

## Történeti ötletekintés:

- XVII. - XVIII. sz. Naprendszer szerkezete megijából ismert volt
  - csillagásnak elve 2009 ment 1609. Galilei tâvcsövet először használta. → Holdat nézte → negyedet, körököt megművelte
  - Jupiter holdjai { nem a Föld a központ



- T. Brahe, Kopernikusz, Kepler

↳ közel a csillagot parallaxisa, mozognak látszólag  
a csillagot → nem találta meg T. Brahe, mert  
nagyon kicsi (jobb távcső kellett volna)

↳ Kepler az előző adataiból, amit nagyon pontosan voltak, feljedezte a bolygók mozgását, ami egyezett a Newtonival

• késői bolygók retrográd mozgása  
más = geocentrikus magarázat.

gyorsabba a  
Föld

- Hoo-as ever again Messier

ústökösök, Naprendszer, csillagok

↳ Halley - feltéte Ceresre a talácsővel → így objektumot → nem pontszerű, hanem halvány

folgt → Katalogist resultiert → „nebulat“

- 100 eves vita

- Shapley - Curtis vita Smithsonian Intercept 1920

- ↳ 3 fő térdés → távolság
    - összetétel
    - „ellenállási zóna”
  - ↳ nem homogén az elosztása → galaxisok (univerzum <sup>öniget</sup>)
  - ↳ galaxiák közel vannak egymáshoz
    - még nem volt technika a távolságmeđsre,
    - spektroszkópiára.
  - ↳ Elénklési zóna → egy sáv ahol nem látni galaxisokat
    - por a mi galaxisunkban titkazva
    - öröklít erő
  - ↳ nem előlt el a vita, mert nem volt részletek
  - E. Hubble: meg tudta állapítani egy csillagot az Androméda galaxisban → meg tudta mondani a távolságát → előlt el a vita
  - 1924.: univerzumönigetet → ebből tudott izolálni csillagot
  - ↳ változócsillagokat talált → fénységgel periodikusan változott
    - Cepheida
    - a periodusidő összefügg az abszolút fénységgel
    - a tözeléknel tudjuk mindenütt a távolságot
    - Hubble kitalálta, hogy napjainkban vannak is előlt, hogy galaxisok
  - Különböző galaxisok
  - ↳ spiralgalaxisok
    - mag
    - korona
    - halo → láthatatlan → többsége a
    - anyag, tömeg 90% -a
    - rotációs görbe
- $\frac{v}{c} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$
- 
- a galaxisban megnézjük a csillag téli v. vörös-eltolódását → az eltolódás mértékéből  $v : \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$

konstans  $\propto \frac{1}{r^3}$  rotációs görbe a galaxisban  
 $200-220 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

ebből vissz算moltató az anyagelosztás

$$\rho(r) \propto \frac{1}{r^2} \text{ izotrópikus elosztás}$$

önműködés



a galaxisban leítható tömeget a tisztesésekkel kell lenni a tömeget, hogy elkorlátozzák a sebességet

- Hubble által készített galaxisokat:

- spirálgalaxisok
- elliptikus galaxisok
- különböző spirálgalaxisok



### Univerzum szerkezete:

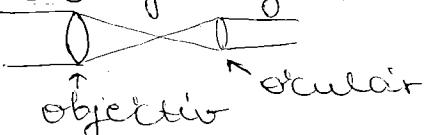
- nagy léptékű az anyag szerkezte, eloszlása
- 1980-ig lehetett csat. a galaxisokat nézni, eztán lehetett a nagyleptékű szerkezetet a galaxishalmazokat vizsgálni
- Hubble ütőávcs (1990) '95/96 Hubble deep field
  - sokáig fénypékerett mely kép, most ott nincs
  - semmi → 225. óra után 3000 galaxis
  - jött elő van több olyan, ami 12 milliárd fénysorba van → univerzum korai stádiumából jött a foton → ilyen kippl. kozmológiát lehet tanulmányozni
  - a galaxisok kialakulását lehet megfigyelni

- modern fel fogás a galaxisok kialakulásáról hierarchikus modell . . .
- 1980 - na nagyobb távolságot is belátunk a galaxisok elrendeződésének szerkezete
- galaxis távolságát a Hubble-törböl számolhatjuk → azt mondja, hogy az universum egynelkül teljes  $v = H d \leftarrow$  távolság  $\uparrow$  Hubble konst. távolsági sebesség → vörösebb oldalról  $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$
- $d = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \frac{c}{H}$
- nagy skálán sem homogén az univerzum
- SDSS 2000-2005 1 millió galaxis távolsága ellenére 660 galaxis spektrumát vizsgálja skysurvey.elte.hu

### Megfigyelési eszközök:

- Galilei → néhány cm átmérőjű lencsével tűvcső
- nagy átmérőjű lencsébe több foton jut felülettel arányosan ↳ kelet, hogy a halvány objektumot is meg lássuk, a hőtől kiválik (az elegendő fekete)
- a távoli objektum halvány attól minden félén  $\rightarrow$   $1/r^2$  - tel csökken az intenzitása
- a távoli objektum időben is visszanézést jelent
- felbontás és élesség a légtéri viszonyuktól függ a vízszintű hatásra rétegni a tépet
- Hawaii nagy hegyen (4 km magas) a felhők fölött sor százmillió \$ - os teleszkóp
- D - i felületek Chileben Atacama sivatagban a fennsíkon
- felbontóképesség : durván egy csillag egy pixel Gauss - gárbérre törödik néz A fel. sz.  $\rightarrow$  felbontás SEEING

## ASZTRÓFIZIKA

- a legjobb a Föld felülein 1<sup>o</sup> a felbontás  
Mo-n 4<sup>o</sup> a legjobb felbontás a Mátrában
- E.S.O. = European Southern Observatory (Chile)
- Ma a műholdakkal lehet a legjobban tutorni
- = ballonos tutkolás is van → Bunérány Kísérlet az Antarktiszról → tökéletes (olcsóbb a műholdnál)
- Hubble űrtárcsa: natalmas, szervő által okb.
- lencsék fizikáját tudjuk


Galilei fél → szemlencse hárni  
Kepler fél → -- - domboini

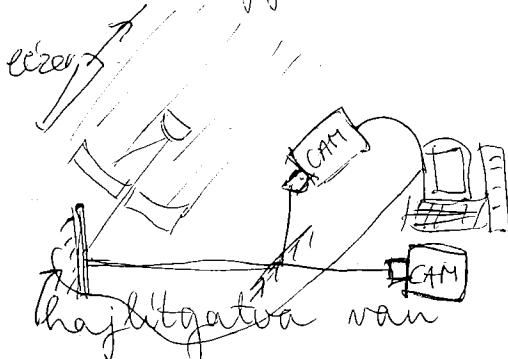
- lencses távcsövet problémái:

  - ↳ kromatikus aberráció → törlésutat a frekvenciafügg.  
→ tükrökön piros és kék fókuszpontja
  - ki kell egészíteni kompenzációhoz  
atromatikus → két lencse
  - ↳ apotromatikus → három lencse → kevesebb minősítési hiba → szélein feltess a nagy átmérőnél

- Yerkes observatórium 103 cm-es lencse 100 éve  
A. Clark csinálta, ez a legnagyobb  
nagyon hosszú fókusztávolság  
ekvatorialis felügyesztés ⇒ fog a Földdel  
be kell járni a kupola előtt → nagy épület
- nehéz lencsét hiba nélkül önteni (buborék)  
átmeneti rajta a fény így nem lehet  
domboini és a szélén kell fel fogni és  
nehéz is  
nagyon nagy tubus, kupola  
nehéz kerelni

- tükrös talcesső → parabola alakú → jól meg lehet használni → közeli fókusztávolság
  - nem megy át a fény rajta
  - 0 hőtáplálási anyagból van a tükrőr → megfelelő íveg, ami kicsicsolható  $\frac{2}{10}$ -es pontossággal 10 m átmérőjű tükröt kell programozni, hogy nem használhat meg
  - ezüstöt párologtatva a felülről → 98% viszavezetés
  - prime / elszáleges fókuszpontban is lehet nézegetni
    - ↳ kifáraszt a beélező fénytől, de ez nem ravar mintet, mert képet fog alkotni
- eljárások a megfigyelésre
  - 1) prime focus
  - 2) Newton-féle → kis tükrőr fókusz előtt → oldalt okulárral
  - 3) viszafordító tükrőr → Cassegrain focus → nem utánozza a megfigyelőt, tübusz hossza a ~~10~~ felére csökken
  - 4) Coudé focus 2)+3) → megfordító és  $45^\circ$ -os tükrőr → oldalt a fény a morgastengelyre → kényelmes
- hibái: → gömb alakú részben a fényt pedig azt könyű csinálni, parabolát nehéz csinálni, de belül lehet röviden egy negyedrendű konktor lemez (Schmidt)
- hogyan lehet megvenni, hogy ne hajladdorron?
  - ↳ kis tabletából, amit kompjuteres alkatrész tartanak pl. 680 g alakúak részével Leica I, II.
  - ↳ E.S.D.-ban 4 db 8 mes íveg lemez egy darabból nagyon vékony, ami hajladdorrik → ránkitörőgép használata helyett
  - ↳  mehsejtnevezetű lencsek hátlép → merev és egyszerű könyű is

- adaptív optikával akarjuk javítani az 1<sup>o</sup> felbontást az 1<sup>o</sup> eggy kötött valamit



a látás a magas legközben verődjön vissza  $\Rightarrow$  mesterséges zöld csillag ha a zöld egy paca, attól a tükröt ~~szabályozni~~ gyönyörködik, hogyan pent legyen  $\Rightarrow$  Ned megne p.

gyorsan hajlítgatóval a tükrőr  $\rightarrow$  alkalmazkodik a lejtői változásokhoz

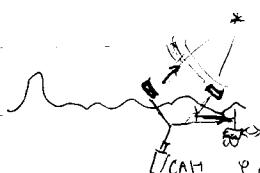
- V.L.T. (Very Large Telescope) 4 db 8 m-es mozgó tükrőrt az alapítmány, interferometrikus módon dolgoznak tökör darabjait alkotják



- diffraciólimitált felbontás  $\rightarrow$  a selen elhagyta a fény  $\Rightarrow$  interferencia

$$\alpha = 1,22 \frac{\lambda}{d} \frac{(\text{nm})}{(\text{m})} \Rightarrow " - \text{ben az Airy-lémeze mérete} \\ \frac{500 \text{ nm}}{5 \text{ m}} = 10^{-7} \text{ radian} \quad 1 \text{ rad} = 206265"$$

- pl: 1/50-ed " a diffraciólimitált felbontás az átmérőt növelte ert lehet csökkenteni



hogyan les egy parabola két része?

- a tükrőt a föld alatti pozícióban mozognat 710 pontossággal egy nagy parabola darabjai lesnek

- kamera, CCD

- spektroszkóp: lencse + prizma / nács + lencse + CCD

anyagi összetételek egy tulajt

- nem csak az optikai tartományban lehet megfigyelni

<sup>újabban</sup>  
IR (vöröscsillódás) RF (radiosugár)

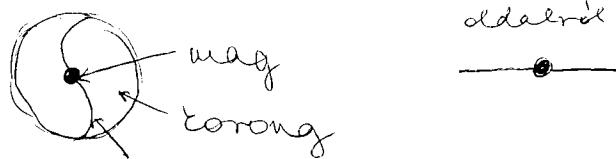
- radioteleszkópot → megognat, mintha nagyobbnakt a daraibja lennének → összinterferencia
- 100 m-es is tud lenni → pontosság egyszerű
- a Föld körül pontjait 12000 km átmérőjű RF teleszkóp
- üresítőről kellenek, mert sor frekvencián nem lehet a földfelszínen mérni
- minte minden tartományt lefedtünk
- optikai tartományban az ős képet  $\Rightarrow$  Hubble űrteleszkóp (összetevők az ürepgával)
- ( 1986-ban alakították 1990-ben pályára állították  $\Rightarrow$  most volt csinálva 1993-ban lett jó  $\Rightarrow$  új képet

### Galaxisok fizikája

- Messier Catalogus → 1700-as évek ~ 100 objektum ma már jobb képet → nem mind galaxis
- Shapley - Curtis vita: a nebulák galaxis vagy gázfelhő?
- 1923-24 Andromeda galaxisnél eldönthető Hubble egy célfelidárt  $\Rightarrow$  előzőt, kicsi galaxis
- szerkezet: sok fényképből Hubble kitalált egy osztályzást  $\rightarrow$  szubjektív, nem sok töre van a fizikájához, mert függ a népen hogyan áll a galaxis morfológiai osztályozás  $\rightarrow$  Hubble rendszere ellipticus → hagyományos spirál → kúlös

### Galaxisok szerkezete:

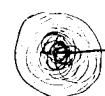
- 1) EØ — ET  $\rightarrow$  menyerre elnyílt  $O \Rightarrow \emptyset \quad O \Rightarrow \gamma$   
Ellipticus  lapult ellipsoid  $\frac{10(a-b)}{a}$   
latitudinale tengelyet a, b

2) spiral ~mag

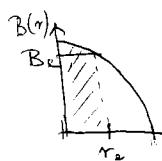
logaritmikus spiráltarok

mindenfelé néha láthatjuk erezet az őgen  
a magban lévő sűrűségeloszlás olyan, mint az elliptikusban  
a radialis sűrűségeloszlás

De Vaucouleurs merte azt meg először



fényességet merte a sugar  $r$  -ben  
 $B(r) = B_c e^{-7,67 \left(\frac{r}{r_e}\right)^{1/n} + 1}$

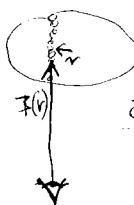
erősen leágaz  $\leftarrow$  def

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

$B(r_e) = B_c$

teljes fényesség

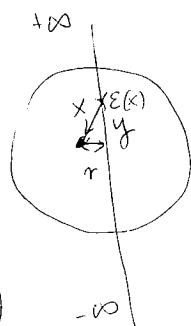
probléma ezel az empirikus profillal, hogy nincsen  
olyan emissivitás, ami ilyen profilt produkálná



Összefüggő vétűket látunk

sikkenődik a képük

olyan ritka van, hogy nem takarják ki egymást, tehát  
az összeszer a fénye ideér  
a csillagok felületi sűrűsége  $\propto \frac{1}{r^2}$   $\Rightarrow$  ritkán vanak  
fényességeit össze lehet adni a csillagokat, amik a  
fénypályán vannak, mert nem takarják ki egymást  
mondjuk, hogy minden csillag egyforma, ettől a kérdés  
csak az, hogy milyen az anyageloszlás, így kijöhetsz  
a brightness



$$\int_{-\infty}^{\infty} E(x) dy$$

$$B(r) = \int_{-r}^{r} E(\sqrt{y^2 + r^2}) dy = B_c e^{-7,67 \left(\frac{r}{r_e}\right)^{1/n} + 1}$$

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

$$x = \sqrt{y^2 + r^2}$$

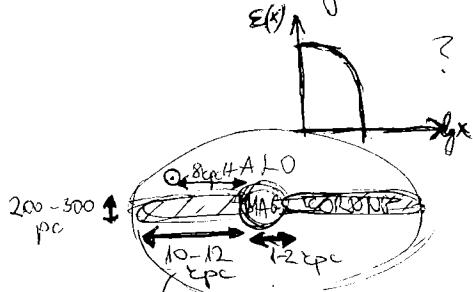
## ASZTRONOMIA

ennek az integrálegyenletnek nincs megoldása  
matematikailag ígyen anyagelosztás nincs ( $\Sigma$ )

Faffe azt mondták:

$$L(x) \sim L \frac{1}{x^2(a+x)^2} \rightarrow \text{ha ezt nézze be } \Sigma(x)-\text{nél}$$

akkor minden dyan. fkt. kapunk



HALO  $\rightarrow$  gömbben 50-100 kpc átmérőjű

hiszen véonyabb  $\rightarrow$  változik a vastagsága

Korong  $\rightarrow$  1:20 lapultságú

$\hookrightarrow$  exponenciális törör  $\rightarrow$  exponenciálisan csökken

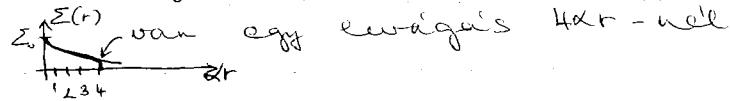
az anyag mennyisége tifellé

$\hookrightarrow$  a sűrűséget felületi sűrűségtől értelmezve

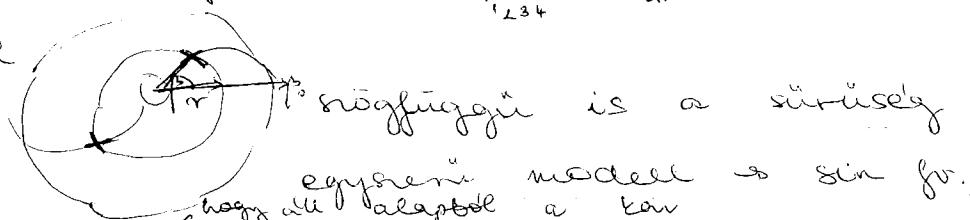
$$70 \frac{1}{\text{pc}^2}$$

$$\Sigma(r) = \Sigma_0 e^{-\alpha r} \quad \Sigma_0 = \Sigma(0)$$

$$\text{nélunk } \alpha = \frac{1}{4 \text{ pc}}$$



$\hookrightarrow$  felülről

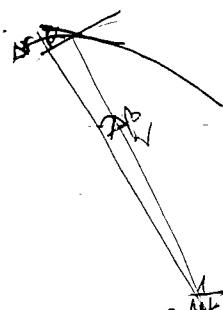


egyenr. modell  $\rightarrow$  sin. fr.

$$\Sigma(r, \beta) = e^{-\alpha r} \sin(m(\beta - \beta_0 - \frac{\ln r}{\tan \alpha}))$$

hogyan kaphatod a spirális  
multiplicitását  $\rightarrow$  mennyi kar?

logaritmikus spirálkar  $\rightarrow$  használ r-ból függően



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

$$\ln r = \beta \tan \alpha$$

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

$$\Sigma(r, \beta) = \Sigma_0 e^{-\alpha r} \left[ c(r) \left[ 1 + \sin \left( m \left( \beta - \beta_0 - \frac{\ln r}{\tan \alpha} \right) \right) \right] \right]$$

↑ contrast      ↑ 10-20°

Távolságok

Nap-Föld távolság átlaga = 1 csillagászati egység / AU

$\approx 150$  millió km

Pluto  $\approx 40$  CSE

Parsec az a távolság, ahonnan 1 CSE 1 súlyai 1 súlyával perc alatt haladik

$$1 \text{ pc} = 206265 \text{ CSE}$$

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ ly} \text{ fényév}$$

Fényév: az a távolság, amit a fény egy év alatt megtesz

Legközelebbi csillag.  $\approx 13$  pc

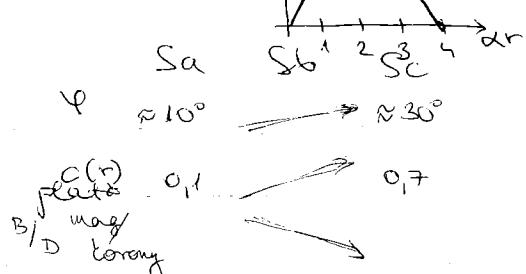
galaxisok: kpc, Mpc

\*

Kontrast: Sa esetén nagyon látanak

Sc-nél kevésbé

$C(r) \rightarrow C(r)$  bent és kint nem látanak jól a spirálkarok



$$\Psi \approx 10^\circ \rightarrow \approx 30^\circ$$

$\frac{C(r)}{\text{felület}} \approx 0,1 \rightarrow 0,7$   
 $B/D \text{ arány}$

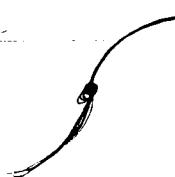
egyre jobban növekkent

egyre jobban látanak

Sa



Sc



cíllősnél is hasonlóan

3) SO dencse alakú galaxis



ebbé a hengervállásba a totális galaxisok  
 95% - a belefér  $\rightarrow$  a többi az irregular

a tőbbi galaxisról csak a fele (50%) ilik az osztályhoz  
mest kialakulásban vanak

- hierarchicus modellje a galaxis fejlődésének:  
gázfelhő → gravitáció → cserepek → félkörű lyuk  
 minden galaxis  $10^6$ - $10^8$  nap tömegű fekete lyuk.  
Ezazir állapot, amíg még nulla is nincs az anyag  
nagyon pici fényes objektum → pontrész  
(QSO = Quasy Stellar Object)
- kvázi → kihunytat → csilleres fekete lyuk  
lapul a gázfelhő → potyog a fekete lyukba →  
kialakul a torony → kialakulnak a csillagok  
lyuk körül a mag  
a magban lévő csillagoknak nagyon nagy a per-  
ihélete → végül kihullik a gyír a magból a  
lyukba → maradnak pici öreg csillagok  
kialakul a spirálkar  
Ütőrések a gravitációból miatt  
→ összeolvadnak nagy elliptikussá  
→ lezártják a torontot → két rész elliptikus g.  
Virág galaxishalmaz törepein M87 egy katalinás  
galaxis, ami sokat olvastott meg a magába

Fényességmérés:Magnitudo definíciója:

$$m_1 - m_2 = -k \cdot \lg \left( \frac{f_1}{f_2} \right) \rightarrow \text{fluxus ami érkezik az 1-esről}$$

$\uparrow$   
2,5 konstans

történetileg alakult ki ez:

- görögöt az ókorban szabad szemmel látható kozmikus csillagot 6 osztályba sorolták  $\rightarrow$  1-es a legfényesebb  $\rightarrow$  ezt a skálát próbáljuk utánzni  $\Theta$
  - a szem logaritmusan érzékeny  $\Rightarrow \lg$
  - $k = 2,5$  ha  $\begin{cases} m=1 \\ m=6 \end{cases} \Delta m = 5 \rightarrow 100$  szoros fluxustulörök az abszolút skála még többet
- $$m = -2,5 \lg f + \text{const.}$$

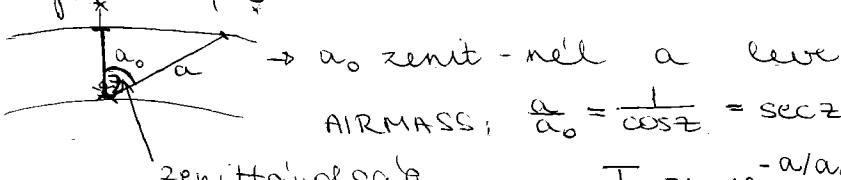
a fluxus: mit tudunk merni?

$$f = \int f_\nu (T_\nu F_\nu R_\nu Q_\nu) d\nu \quad \text{a különböző frekvenciákat össze kell integrálni}$$

 spectrum  $f = \int f_\lambda (T_\lambda F_\lambda R_\lambda Q_\lambda) d\lambda$  hatássor, amit befolyásolja

T: transmisszió hatás: légtör áteresztőképessége

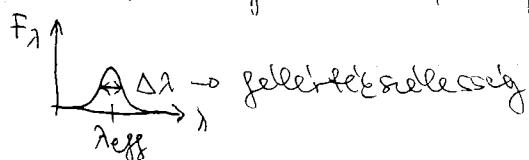
infrában,  $\gamma$ -ban stb. -ben nem érkezik át



AIRMASS:  $\frac{a}{a_0} = \frac{1}{\cos z} = \sec z$

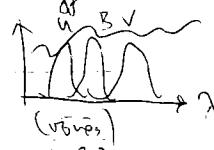
zenittávolság  $T_z \approx e^{-a/a_0}$

F: filter  $\rightarrow$  színszűrőkkel fotózunk, hogy lehessen színes képet készílni



$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_{\text{eff}}} = 10-20\%, \text{ időszakú}$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_{\text{eff}}} = 1\%, \text{ keskenyszűrő}$$

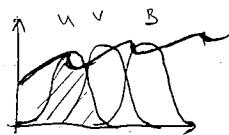


Szűrőrendszerek: 1953 Johnson - Morgan

U	365 nm	(UV)
B	445 nm	(B)
V	556 nm	(Léthatós)

R	658 nm
I	806 nm

(Vörös)
(IR)

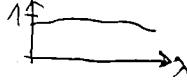


$$m_u - m_v = \text{színindex} \\ (C.I.)_{uv}$$

R: reflexió: a távcső türeinek viszavezetése

Al Ag  
95% 98%

ez nem napjaink leggyakoribb



Q: kvantumhatásfok → CCD的感受度 kvantumhatásfoka nem 1  
nem az összes éről meghatározni és nem minden fotón  
ból lesz éről

$$m_{u,v,B} = -2,5 \lg f + \text{const.} \rightarrow \text{ez meg nincs meghatározva}$$

$$m_A - m_B = (C.I.)_{AB} \quad \text{lehetne a színszűrőkön}$$

úgy szükséges, hogy a VEGA csillag magnitudoja  
minden színen 0 legyen → úgy beállítható  
a konstansot (C.I. ∈ ℝ)

A Nap magnitudoja (átlagos) ≈ -27 → ez általában  
magyar napjaink törel van

⇒ kitaláltaik az abszolút magnitúdót: ( $M$ )  
amit akkor látunk, ha a csillag 10 pc-re  
lenne tőlünk

$$M = \dots \quad m - M = -2,5 \log_{10} \left( \frac{1}{f} \right) \quad f \sim \frac{1}{d^2} \leftarrow \text{távolság}$$

$$m - M = -2,5 \log_{10} \left[ \frac{(10 \text{ pc})^2}{d^2} \right]$$

$$= -5 \lg \left( \frac{10 \text{ pc}}{d} \right) = 5 \lg \left( \frac{d}{10 \text{ pc}} \right) = 5 \lg(d) - 5$$

talvolságmódulus téplet:

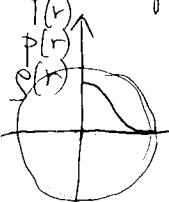
$$d = 10^{\frac{m - M + 5}{5}} \quad ! \quad \begin{array}{l} \text{fontos a talvolságmérők} \\ \text{cégeinek periodicitásának } \sim M \\ \text{többi csillagról tudjuk} \end{array}$$

$$\text{Nap: } M_{0,V} = 4,83$$

Csillagot szerezzetek

termionuklearis fizikával a közepén keletkezik az energia, ami kielőpínde a felülről

közepen nagy nyomás 15 millió K hőmérséklet

- 
- típeli csökkentő fr.-el érhető közeléig
- 1.) gömbszemű (általában  $10^5$  pontosság)
  - 2.)  $r$  és  $t$  fr.-ben írjuk fel a dobjat sűrűség ( $\rho$ ), hőmérséklet ( $T$ ), kémiai összetétele ( $X_i$ ,  $i=1,2,3,\dots$ )
- ez a három minden mászt meghatároz:

$p(g, T, X_i)$  nyomás,  $U(g, T, X_i)$  energiasűrűség  
 $s(g, T, X_i)$  entrópiasűrűség,  $\lambda(g, T, X_i)$  hővezetőképes-sűrűség,  $\epsilon(g, T, X_i)$  emissivitás  $\rightarrow$  minden hő temelődik / keletkezik abban a térfogatbanben csillagmodell

$$TdS = d\left(\frac{U}{g}\right) - \int g_F dg \quad \rightarrow \text{termodinamika I. füg.}$$

$F$ : a hőnek a fluxusa

$\epsilon$ : hőnek a forrása = emissivitás

$$\therefore gT \frac{ds}{dt} = g\epsilon - \text{div } F \quad F = -\lambda \nabla T \quad (\rightarrow \text{hővezetés})$$

Navier - Stokes - egyenlet gázra

$$0 = \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} + \frac{1}{g} \nabla p + \nabla V \quad \begin{matrix} \text{grav.} \\ \text{potenciál} \end{matrix}$$

$$\nabla^2 V = 4\pi g ?$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{d^2 r}{dt^2} = 0 \quad \rightarrow \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 4\pi G g$$

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

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

} gömbi  
coordináták  
csat r függés

atírjuk az  $r$  stállát tömegstállára  $\rightarrow$  csat a tömeg a fontos parameter

$$M(r) = \int_0^r 4\pi r^2 g dr$$

cstellag luminozitása:  $L = 4\pi r^2 F$   
 eredet az új változókat beírjuk

## ASZTROFIZIKA

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

$$(2) \frac{dM(r)}{dr} = 4\pi r^2 g$$

$$(3) \frac{dT}{dr} = -\frac{3\kappa S L(r)}{16\pi a c T^3 r^2}$$

↓  
 $\kappa = \frac{4\pi c T^3}{3g} \frac{1}{r} \leftarrow$  radiatív hővezetés coeff.

fénysebességeg radiatív opacitás coefficiens

$$(4) \frac{\partial L(r)}{\partial r} = 4\pi r^2 g \left( e - T \frac{ds}{dt} \right)$$

rátjut bele hogy  $\frac{\partial}{\partial r} \rightarrow 4\pi r^2 \frac{\partial}{\partial M(r)}$

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial M(r)} = -\frac{GM(r)}{4\pi r^4} - \frac{1}{4\pi r^2} \frac{\partial r}{\partial t} \\ \frac{\partial r}{\partial M(r)} = \frac{1}{4\pi r^2 g} \\ \frac{\partial T}{\partial M(r)} = -\frac{3\kappa L(r)}{64\pi a c T^3 r^4} \\ \frac{\partial L(r)}{\partial M(r)} = e - T \frac{ds}{dt} \end{cases}$$

feltehető, hogy hidrostatikai egysély van  $\Rightarrow$  ekkor az időmeneti második deriváltat elhagyható  
localis termelés egysélyt is feltehető  $\Rightarrow$  ekkor az időmeneti deriváltat elhagyható  
peremfeltételre kell szabni  $\Rightarrow$  töreken, széles  
 $r=0$  a centrum  $M(0)=0$

$$L(0)=0$$

a felirat definíciója  $M(R)=M$

~~referenciával~~

$$g(R)=0$$

sugárzási tr.-kör

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

Fluxus

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

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

ismertetlen:  $g(0)$ ,  $L(R)$ ,  $R$ ,  $T(0)$

Közelítés (politrop):

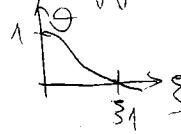
$$p = \xi g^{\frac{n+1}{n}}$$

nyomás      sűrűség       $p^n \sim g^{n+1}$

$$g = g(0) \theta^n \quad p = p(0) \theta^{n+1}$$

$\theta$ : dimenzióban  $\Rightarrow$  politrop hőmechanikai

$r = \alpha \xi \leftarrow$  dimenzióban változó  
skálázóssal

legyen  $\xi = 0$ -ban  $\Theta(0) = 1$   $\frac{d\Theta}{d\xi}|_{\xi=0} = 0$   


$\xi_1$ -nél  $\Theta = 0$  az a csillag felszíne ~

analitikus m.o. ha  $n = 0, 1, 5$

$$n=0 \rightarrow \Theta = 1 - \frac{\xi^2}{6}$$

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

$$n=1 \rightarrow \Theta = \frac{\sin \xi}{\xi}$$

$$\xi_1 = \pi$$

$$n=5 \rightarrow \Theta = \left(1 + \frac{\xi^2}{3}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\xi_1 = \infty$$

ez igaz a Földre is.

ha  $n < 5$ ,  $\xi$  véges  $\rightarrow$  ezer felszíne

$n = 1,5$  és  $n = 3$  igazt le az adiabatikus és az ultrarelativisztikus eseteket

$$\xi^{(0)} / \text{Sath} \quad \xi_1$$

$$n = 1,5 \quad 5,99 \quad 3,65$$

$$n = 3 \quad 54,18 \quad 6,9 \rightarrow \text{cp.-ileg sürű}, \text{ de elterjedt}$$

$$P = P_g + P_r$$

↑ sugárzásból  
fejlől

$$P_g = \frac{\epsilon_B}{\mu H} g T$$

↑ H bőmaga  
Emisszió potenciál

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

$\frac{P_g}{P} = \beta \rightarrow$  Eddington azt mondta, hogy legyen  $\beta = \text{const}$

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

$$\text{leverethez: } \frac{M}{M_{\text{Nap}}} = \frac{18,1}{\mu^2} \sqrt{\frac{1-\beta}{\beta^2}}$$

ha  $M$  kicsi  $\rightarrow \beta \approx 1$

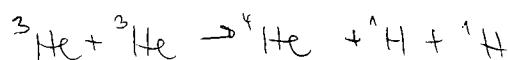
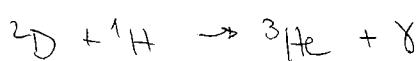
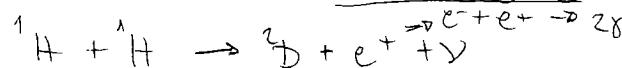
$M$  nagy  $\rightarrow \beta \ll 1$

Nap esetén:  $M = M_{\text{Nap}}$  ( $\mu = 0,6 L$ )  $\beta = 0,9995$

### Hidrogén-Heliumma fúziójának:

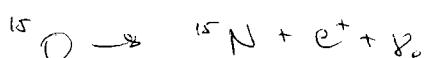
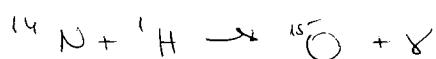
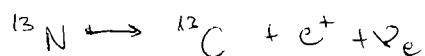
#### 1) P-P lánc

#### Obulás



melléktermékek nincs az energiáját:  $\gamma - \nu$ ,  $P-E$

## 2) CNO ciklus



$$\frac{P_{\text{CNO}}}{P_{\text{EPR}}} = 9 \cdot 10^{-27} \left( \frac{m^5 K^{-4} \text{kg}^{-1} s^{-3}}{\text{m}^5 K^{-4} \text{kg}^{-1} s^{-3}} \right)^{1/2} T^4$$

$$\epsilon = 3 \cdot 10^{-57} \left( \frac{\text{J}}{\text{m}^3 \text{K}^4} \right) T^4 \quad (\text{földi csillagban})$$

nappali  $\approx 1370 \text{ Watt/m}^2$ ?  $\Rightarrow$  folyamatos száma / s  $\Rightarrow \nu - z$

Napneutrino-probléma  $\rightarrow$  elemlet ellenőrzésre

st fiziolóval kezdi a csillag az életet.

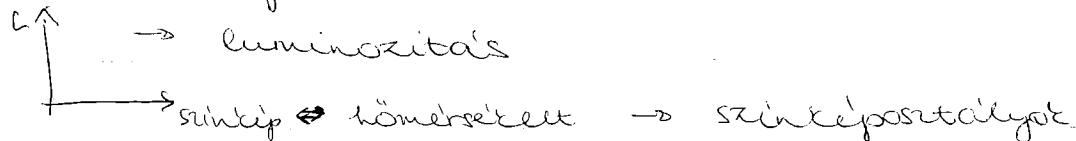
Napneutrino-ból felelő részték az elemletből származnak, a probléma megoldása, hogy a neutrinónak tömegük kell, hogy legyen és hogy oscillálhat  $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$   
Mai meríset alapján 1-2 eV-nál kisebb a tömege, tehát nem a neutrino a sötét anyag

Hertzsprung - Russell diagram

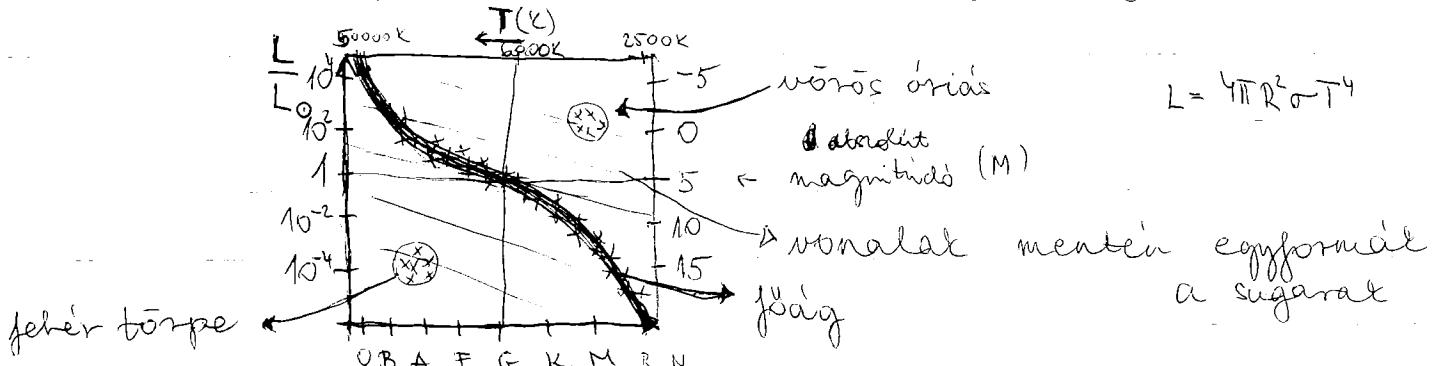
1 paraméterrel jellemzhető egy csillag

Spektroszkópiával mértek a csillagok színképet,

amiből megmondható a hőmérséklete



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



a tükrökön osztályozásban tükrökön állapottan vanak a nehézbb elemek a csillag felénél

	szín	T (1000K)	vonatok
O	ték - uv	28-50	ionizált + vonal
B	ték - fehér	10-28	neutralis He
A	fehér	7,5-10	" H
F	sárga - fehér	6-7,5	H, ionizált fehér
G	sárga	5-6	H, neutralis és ionizált fehér
K	naranccs	3,5-5	neutralis fehér
M	piros	2,5-3,5	Ca, TiO

a csillagáratban minden fén, ami nem H v. He.

$$R = \frac{1}{T^2} \sqrt{\frac{L}{4\pi T_0}} \quad \frac{R}{R_0} = \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \sqrt{\frac{L}{L_0}}$$

superóniai, óriások a felső szereben töltik az alsót

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

kedős csillag körös tömegét pályamerettől magas periodusidőből nem válthatjuk, de köveli a távolságot parallaxis módszerrel figyelten meghatározva

$\Rightarrow$  több iánytalál lehet illetvei  $\Rightarrow 3,5$

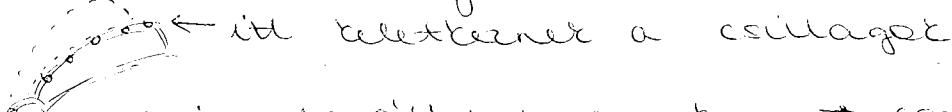
$$\text{élettartam: } t \sim \frac{M}{L} \sim M^{-2,5}$$

$M/M_\odot$	$L/L_\odot$	$t (10^6 \text{ év})$
25	80000	3
15	10000	15
3	60	500
1	1	10 000
0,5	0,03	200 000

földön a legkisebb  $\approx 0,08$  naptümeg  $\rightarrow$  elég gravitáció hogyan a fizikai elég meleg leppen a legmagasabb  $\approx 100 M_\odot \rightarrow$  feretlyükű esne össze a magasabb

hogyan indítható be a csillag eleterése?  
 gázfelhőben össze kell gyűrni az anyagot,  
 hogy a gravitációja összehúzza fizikai előnyövel.

↳ spirálkarok sűrűséghulláma összehúzhatja az anyagot a galaxis korongjában → véletlenszerűen különös tömegek



→ mire továbbjut a kar → csak a kicsi piros csillagot maradhat → lehet látni a spirálkarban ezt a szint

↳ supernovarabandások → sok gáz törehulláma összegyűrja a gázfelhőt

↳ galaxisütőrésekhez az impatt param. + 0, attor átmennet egymáson ⇒ az ütőrést lehet tudni onnan, hogy sok kisebb csillag van benne ⇒ gázfelhők a két galaxisban ütőrések és csillagok eleterénekben

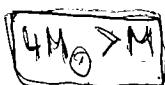
### Csillagfelföldés:

→ H → He fúzió (25% He az elején) → leesik a H aránya 30-35%-ra, 65-70% He lesz benne törepen → egyre kintebb lesz az elülső, ahol egyre kisebb a hőmérséklet ⇒ megáll a folyamat → gravitációs össerostadása a magnal és adiabatikusan felmelegszik a mag a tár 100 millió K-re → fotonok sugároznak, amik ellenállnak a gravitáciának és felfüggesztenek a tűlső részt ⇒ nagy és hidrogén a felrinné ⇒ vörös óriás



10 milliárd év a földön

néhány millió év alatt átmegy vörös öniásba



$100\ 000\ 000$  K-en  $3\text{He} \rightarrow \text{C}$  fiziol megy a magban :  $^4\text{He} + ^4\text{He} \rightarrow ^8\text{Be}$  nagy hőmérsékleten  $^8\text{Be} + ^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$  nagy valószínűséget

újra eltezd energiat termelni  $\rightarrow$  rendlis egysély, stacionárius állapot = 2 milliárd év

He is röpdy a formálókorépső részével  $\rightarrow$  megáll a folyamat  $\rightarrow$  gravitációs összerostadás  $\rightarrow$  meleg belül  $\rightarrow$  potenciálgyorsan csökkenik kivisít a sűrűn a gyakorlatban normális sebességgel  $\Rightarrow$  visszamarad a sűrű mag  $\rightarrow$  kicsi méretű, kis luminositású  $\Rightarrow$  fehér törpe a végtájtába a  $4M_\odot$ -nél kisebb csillagoknak a fehér törpe sugaroz  $\rightarrow$  nincs, luminositas is csökken  $\rightarrow$  eltűnnel a külsői görbén lassan

$4M_\odot > M$  supernova robbanás  $\rightarrow$  neutróncsillag  
fetete lyuk

He ége's után is visszamegy többször a föld felé  $\rightarrow$  addig amíg vas lesz a magból  $\rightarrow$  vasban nem indul fiziol  $\rightarrow$  disszociál a vas  $\rightarrow$  neutronot lesznek (+ sor  $\nu_e$ )  $\rightarrow$  összenyomtatában neutróncsillag

C fiziolból 0 lesz nagyon nagy nyomás és hőm. eppen gyorsabban röpdy a megfelelő hőmű üzemanyag - , vasig oszcillál a föld és v.d. állapot között

Fe atomot sételnek  $\rightarrow$  összenyomtatában mag

neutronból, amikről nagy sebesseggel pattanhat le a röltő gázszívet  $\Rightarrow$   
supernovaröbbanás

$p^+ \rightarrow n^-$  folyamatból neutrino elemezít  $\rightarrow$  amikor supernovaröbbanás van a neutronmagból, nagyon sok neutrino indul el  $\rightarrow$  Földön is nagy fluxust lehet mérni egy szomszéd galaxisban lívő supernovalból.  
A robbanás előtt közvetlenül nagyon spáros a gáz nem jönhet ki a fotonból  $\rightarrow$  egyptennel ellentétben a fotonok, mint a neutrinók.

A végállapot: ha  $4M_\odot < M < 80M_\odot$  neutronsíkig lesz  
ha  $M > 80\odot$  felette lépik  
összeroppan

robbanáskor 95% töröklik  $\Rightarrow$  neutronsíkig max.  $3M_\odot$   
A neutronsíkig nagyon gyorsan forog ( $T \approx 1s$ ), a perclület megmaradása miatt  $\rightarrow$  a mágneses tengelye nem esik erre a gyorsító hatásra  $\Rightarrow$  pulzárak névezetű  $\rightarrow$  rádiócsillagokat kattogásnak hall

Fehér tömege: ha anyagot rakunk rá összebb esik Chandrasekhar mutatta meg, hogy ha anyagot rakunk rá mögötte a tömege eis csökken a névű limit  $1,4M_\odot$ , ha ennél nagyobb a degenerált elektrongáz tömege, akkor nem preselhető több, hogy supernovánkat felrobban

Ia, Ib, Ic típusú supernovák

(a másik a II-es típus elhér Ib,Ic használ)

Ia teljesen más folyamat  $\Rightarrow$  más színképet  $\Rightarrow$  színáték

II. szintépében sorjelle nézé elem  $\rightarrow$  fémek

I.a szintépében főleg hidrogen vonalak

I.b, I.c. könnyebb elemek, de nagy tömegű csillag  
végállapota

I.a. az ami másik folyamat:

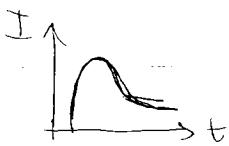
lettős csillagrendszer esetén a fehér törpe  
át tudja a vörös óriás lársaiból szívni az  
anyagot  $\Rightarrow$  eléri  $1,4M_{\odot}$ -t  $\Rightarrow$  felrobban a szu-  
pernova

$\hookrightarrow$  ezek a supernovák mindig ugyanakkorát  
robbanást  $\rightarrow 1,4M_{\odot}$ -nél

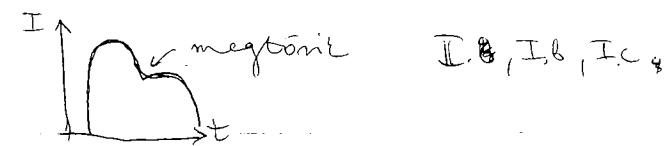
$\hookrightarrow$  távoli galaxisokban is meglátjuk, és  
mivel tudjuk a fényességet  $\Rightarrow$  meg lehet  
mondani a távoli galaxis távolságát

$\Rightarrow$  ez mindenre jó

Az időbeli lejtési görbe a robbanásról



Ia.



I.I, I.b, I.c,

A fekete lyuk is lassan el tud fogyni  $\rightarrow$  Hawking-sug.

Protoplanetáris növök: gázfelhő, ami elkezdtet  
összenyomásra csillaggá

csillag van perelülete  $\Rightarrow$  felporríg összenyomás-  
rendszer  $\rightarrow$  egyptikus mentén nyomódít össze  $\stackrel{E_{\text{disz}}}{=}$   
bolygók ellenek, amit a perelületet viszik  
el, hogy ne porrönjen be a pici csillag

Naprendszer: tömege 99% -a a Napban  
perelülete 99% -a a bolygók  
kerületeiben

A csillag több, mint fele eztől csillagrendszerek → Ezt nagy tömegűell szüksége, hogy a rezeteti perihéliumot elvisse. → gyakran a fehér törpe superneutronból van

Sor. Ezt pulzár címmel lehet → időzítéssel, mérésel a rádiójelből sormindent meg lehet tudni.

### Naprendszer

Föld típusú

8 bolygó → belső bolygók → nehéz elemek  
→ gázriasor → H, He

A felmelegedett, de  $0,08 M_{\odot}$ -nél kesebb gázriasor a barna törpek → nem csillagok, mert nincs fizikai energiatárolás.

1 csillag a Nap + 8 bolygó körülözött (Beszélgetésre arról, hogy mi történt a Plútóval?)

Igy szavazat, hogy a Plútó nem bolygó.

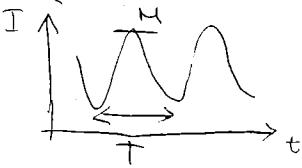
Miért? Mivel bolygó egy bolygó? ① → elliptikus, amiben a Föld kering az a sík → Eb. egyforma a többiernél is kisebb a Plútó ( $20-30^{\circ}$  eltérés)

② mérete: □ vannal nagyobb holdat, mint a Plútó

③ saját jogán kering a Nap körül! → ez még jó a Plútóra, de a holdakra nem

④ elmagult pálya → olyan nagy az excentricitása, a Plútónál hogyan nem mindig a legtávolabbi it döntött az volt, hogy található hasonló objektumok még távolabb → aszeroidák, kisbolygók)

### cepidea (váltócsillag)



T periodusidőből meg lehet mondani az abszolút magnitúdot

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

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

↓ látjuk

ez a standard gyertya, aminek a távolságát egy tudjuk számolni (Hubble 1923)

### anagyeloszlás:

galaxisok nagyskálás szerkezetének felderítése:

1958. ABELL galaxis-halmaz-katalógus

1955. Palomar Observatory Sky Survey (P.O.S.S.)

segítségével készült a katalógus

Sky Survey előtt nem volt csak minden az érdekes dolgotat nézé

⇒ le terítők az egész eget fotóznai  
Palomar kezről több mint a. fil egyet látni  
 $14'' \times 14''$  felületenre 1500 db. ptk.

ma digitálisan D.S.S.

Abell szerint **2712** db galaxishalmazt talált

definíciója: ha egy adott sugaron belül ( $d = 1,5 \text{ Mpc}$ ) van legalább 30 db galaxis

galaxisok sűrűsége az egen:  $n_g = 10^{-8} \frac{1}{(\text{Mpc})^3}$

galaxishalmazok sűrűsége:  $n_d = 10^{-5} \frac{1}{(\text{Mpc})^3}$

galaxishalmazban nagyságrendekkel sűrűbben

vannak a galaxisok pl. 1000 db.  $(1,5 \text{ Mpc})^3$

osztalypzta stb.; (richness class)

30-50 50-80 80-130 stb. ... 1000

egy galaxishalmazban megteremt a legfajnysébb galaxisokat  $\rightarrow$  (3. 5. 10.) egynél többet vette standard

agytyanat, → távolságot meg tudta számolni (feltette hogy tudja az abbr. magnitidét)

Abell rihagyta a mi galaxisunk korongjának irányát és előről még  $\pm 30^\circ$ -os sávot amit lefedett az Eb. 113-a az egész égboltnak 1682 db galaxishalmaz 500-nál több galaxist tartalmazott

a Tejürendszer a Lokális Csoport része 20-30 galaxisból álló halmaz része

Androméda a másik csillagközi méretű benne ami töbör nagyobb a Tejútnál ezek körül 90% át adják a L.Cs.-at

**1968. Zwicky:** 9700 db galaxishalmaz a Catalogusában az egész égről

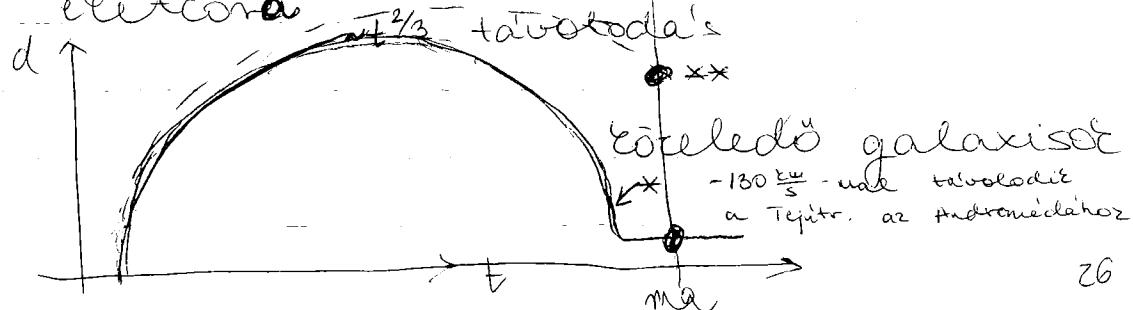
ESO a déli részről is megsinálta a képetet a '60-as években

**1980** 3D térkép készítése (resztk.)

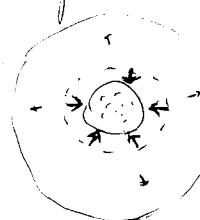
### Galaxishalmazok fizikája

főlegelmebe kell venni a relatívási folyamatokat is, mert az ideje összehérkő az univerzum korával

az univerzum tágul, amit a gravitációval le kell türdeni a g.h. galaktikához ami annyi ideig tart, mint az univerzum elettől



- \* virializálódik a galaxishalmaz
- \*\* infall még nincs benne a virializálódott magban
- \*\*\* van, ami lassabban távolodik a Hubble tágulásnál



lassan távolodik befelé  
fognak csin

Mag: potenciálgyöktör hoz létre az összecsomosodott galaxishalmaz  $\Rightarrow$  belepetyog a galaxisról körötti gáz  $\rightarrow$  felmelegszik, hogy ne hulljon bele felerősítések  $\approx 10^6$  K hőmérsékletre  $\Rightarrow$  sugárzik

Röntgen-sugárzást bocsát ki  $\rightarrow$  a sugárzástól meg lehet tudni a gáztartalmat az ürből kell fotózni a Röntgen-távcsőnyban azt látjuk, hogy hatalmas intenzitás  $\Rightarrow$  halmaz tömegének fele gáz a galaxisról körött ez a gáz hűl a sugárzástól  $\rightarrow$  ennek  $1-10 M_{\odot}$ -nyi gáz tűnik el a formárisiból  $\rightarrow$  nem tudjuk mi történik vele  
be tud áramlani <sup>gáz</sup> rövidről  $\rightarrow$  hűtési áramlással

Hubble: már V. Slipher felmérte néhány galaxisnál a vörösettolódást  $\rightarrow$  hosszabb hullámhosszat felé tolódik a spectrum  $\Rightarrow$  távolodásnak kölön Hubble megmérte a távolságot és creket össze lehetett venni a távolodási sebességgel

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad \xrightarrow{\text{v (slipper)}}$$

$\approx \text{const.}$

egyenlesne illusztrálhat a pontok:  $v = H d$  ( $H$ -tr)

Hubble-konstans a meredeksége az egynemesnek  
mai értéke:  $\approx 1 \left( \frac{\text{km}}{\text{s}} \frac{1}{\text{Mpc}} \right) = H$  (1-2% hiba)

ez alapján tén a Andromédát föl-nel jönne, de  
130  $\frac{\text{km}}{\text{s}}$ -mal jön

ebből a tr.-ból jön az Universum tagulása

a Hubble-tr alapján lehet távolságot mérni

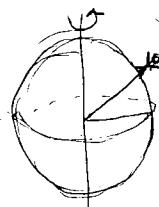
$\rightarrow$  spectrumet kell csat megmérni

Day velle, hogy 1 óra meghosszúbb kell a  
szép spektrumhoz minden galaxisnál

$\Rightarrow$  1980-ig tartott 3D-s térelép készítése

### Koordinátarendszer

1) Ekvatoriális E.R.  $\rightarrow$  Földhöz és Egyenlítőhöz kötve



Fizikai szinten itt áll  $47^\circ$ -nál Bp-en  
forog a Föld  $\rightarrow$  egy ejrakra

Égűrön próbáljuk meghatározni a ponciótat  
mincs távolságáról sőt

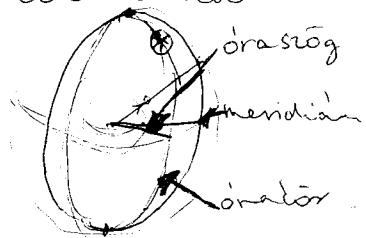
egyenlítői cépe az égűrön az égi egyenlítő  
forgástengelyét meghosszabbítása  $\rightarrow$  égi déli saroi SCP  
" " északi " NCP

megfigyelés pontjában az érintők metriktikus a  
horizontot  $\rightarrow$  e között latunk  
zenit a köréppont és körten lívő egynes  
meghosszabbítása feljelle (nadir lefel)

ha nézünk egy csillagot:

- földt, ami a sarkon és a csillagon átmegy  
→ óratör definíljuk
- óraszög az első koordináta → eggyel többé \*
- meridián a zenitén és a sarkon átmenő kör

\* hizott vonalat törépről a tért körhöz → a tért vonal által bezárt szög az óraszög



ez attól függ, hogy honnan nézzük definálni ezt egy pontot, amitől mirek ment szög lehet egy jó koordináta

- definíljuk a tavaspontot → hol van a Nap?



écliptikánban a Föld a Nap körül ellen a széljén az écliptika és az éggyűrű metszésében az eggyelzőn definíljuk a tavaspontot a tuloldali metrőspont az öspont

- merítjük az óraszöget a tavasponttal

REKTSZCENCIÓ & koordináta

- töréppontot összetöltjük a csillaggal az óratör metrőspontja az eggyelzővel adja a 3 pontot a 8 szöghez → DEKLINÁCIÓ 8 koordináta

- Zenittávolság: csillag - töréppont } összetöltő tért eggyenes szöge:  $\pi$

annak jobb minél kisebb maradék

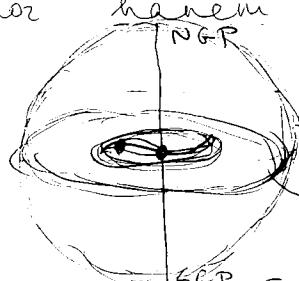
akkor kell keves levágás résztul nézni

- $15^\circ$  megtétel 1 h -nál → felével kisebb maradék valamivel kevésbé lehet megfigyelni

hagyományos megfigyeléshez az órában mérés  
 $0 - 360^\circ \leftrightarrow 0 - 24 \text{ h}$

## 2) Galaktikus koordinátarendszer:

nem Földhöz hanem Tejtrendszerhez van rögzítve



Tejtrendszerhez épp galaktikus egyenlítő  
 $\rightarrow$  SGP = déli galaktikus polus

a galaktikus sebessége a Föld és a magiránytól mérve az egyenlítőn

b-vel jelöljük  $0 \leq b \leq 360^\circ$

a galaktikus hosszúsága a síktól mérve szög  
 $-90^\circ \leq l \leq 90^\circ$

$l=0^\circ b=0^\circ$  a Tejtrendszer marja

ugyanaz  $\alpha = 17 \text{ h } 45 \text{ m}$   $\delta = -28^\circ 56'$

Hinden meg kell mondani, hogy melyik ideopontra vonatkozik: EPOCH 2000. jan. 1. 00:00  $\rightarrow$  hol volt?  $\alpha, \delta$

ez valóban, de nem lehető

effektusor  $\rightarrow$  Föld precessziója  $T = 25800 \text{ év}$

NSP mindenkor az őgen

$\rightarrow$  saját mozgásuk az objektumoknak pecsételődés sebessége  $\rightarrow$  az elágomban való elmozdulás

leggyorsabb Barnard - csillaga  $(0,55 \text{ év/c})$   
 $(1,8 \text{ pc távolság)$   
 körelire nevezik

## Nagysebességű sűrűség mérése

1980 CfA sűrűség  $\approx 1000$  galaxis

1990 pencil beam  $1^\circ$ -os térfogaton  $\approx 1000$  galaxis

Egyikben sem homogén az elosztás

S.D.S.S. (2005) nagyon sok galaxist egybenne  
mérve  $\rightarrow$  1 millió galaxis 3D-s térfelületre  
csatolt galaktikus polus körül 1 $\pi$  steradián  
területet fedett le

a ritk coordinate rendszer  $\approx 60^\circ$ -os délebbi részére miatt  
lehet jól megfigyelni tavassal Új-Mexikóból  
az elosztási galaktikus polust

Összel kevesebb ideig lehet látni a déli polust  
ezért egy savot valasztottak amiben az idő-  
ben változást próbálták megfigyelni (pl. supernova)  
az elosztást statisztikailag analizálni kell  $\rightarrow$  igazi 3D-s  
ábrából nehéz statisztikát csinálni

! Szűrőszig / anyag elosztás teljesítményspektruma lesz

(Fourier-analízis  $\rightarrow$   $1/\lambda^2$  volt jel feldolgozása)

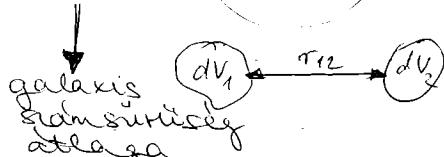
sorba lehet jegyezni gombi harmonikusok sora

12.02

Szűrőszig elosztás teljesítményspektruma gombi  
harmonikusok sora kifejezve

Kétpont korrelációja független

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



$\xi(r) > 0$  ha a galaxisok szenetek.  $r_{12}$  távolságra  
lenni  $\Rightarrow r_{12}$  kitüntetett távolság  
fordítva logikusan  $-1 < \xi < 1$

statfiz:  $\xi(r) = \frac{\langle s(x) s(x+r) \rangle}{\langle s^2 \rangle} - 1$  (analog def)

$$\text{egy galaxis tömege } m_G \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \bar{n} m_G = \bar{\rho}$$

sűrűsütségy  $\bar{n}$

$$\langle g(x)g(x+r) \rangle = [\xi + 1] \bar{n}^2 \Rightarrow \text{azonosít a definíciót}$$

$m_G^2$  konstansot elűnbeti nem fagytatott ugyan

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

fejtsük Fourier-sorba

$$\delta(x) = \sum_{\ell} \delta_{\ell} e^{-i\ell x}$$

$$\delta_{\ell} = \frac{1}{V} \int g(x) e^{i\ell x} d^3x$$

$$\langle \delta(x) \delta(x+r) \rangle = \frac{1}{V} \int d^3x \sum_{\ell} \delta_{\ell} e^{-i\ell x} \sum_{\ell'} \delta_{\ell'} e^{-i\ell'(x+r)}$$

$$= \left( \frac{1}{V} \int e^{-i(\ell+\ell')x} d^3x \right) \sum_{\ell} \sum_{\ell'} \delta_{\ell} \delta_{\ell'} e^{-i\ell' r} =$$

$$= \sum_{\ell} |\delta_{\ell}|^2 e^{i\ell r} \rightarrow \delta_{\text{fr.}} \Rightarrow \ell \rightarrow k$$

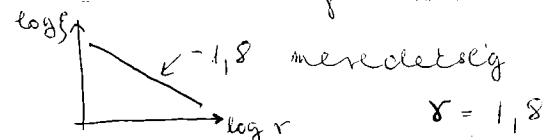
$$\xi = \sum_{\ell} P(\ell) e^{i\ell r}$$

→ teljesítményspektruma a sűrűségeloszlásnak

Cépmutatóműködés fölött leírjuk a sűrűségeloszlási spektrumot a számítógéppel

Fourier-transzformáljuk és  $P(k)$  meghatározzuk

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



galaxisok szeretnék egymáshoz közel lenni

a gravitációs összehűtőre írt

csomósodnak a galaxiák galaxishalmazba

hierarchikus galaxisfejlődési modell alapján

elliptikus galaxisokra erősít a korr:  $\gamma = 1$

spiralgalaxisokra

$$\gamma = 1.6$$

ahol sűrűbb otthonakban van a galaxis

$$P(k) \uparrow$$

$k \leftarrow$  hullámszám  $\sim \frac{1}{\lambda}$

$\lambda$  hullámhossz

Nála hozzá van csúcs  $\lambda_{\text{csúcs}} -$ nél ahol a legtöbb

van

- ↳ nagy hullámhosszú valóra ismét meg nem volt ideje az univerzumnak  $\rightarrow$  a gravitációs összehúzás véges idejű.
- ↳ kis hullámhosszúságban leág meg a galaxisokat megtüntetve, amit nem lehetne olyan közel megfigyelni.  $\rightarrow$  nem lesz  $f(r < \text{Mpc})$  mintavételre és ennek miatt már még a régebbiek csatá a lecsengő részt nem tudtak mérni. Egyetlen volt a térfogat.
- ↳ természeti merülésből lesz még a nagyhullámhosszú növekvő rész
- ↳ a csíks rövidítése mai általános (2000-es évek)
- ↳ SDSS f., természeti merülésről tisztán elmondva  $\Rightarrow \Delta$
- ↳ a csíks  $\lambda$ -jának nagyságrendje: 100 Mpc -es

## Kozmológia

= az univerzum teleterésekkel és fejlődésével tudománya

XX. században lépett jelentősen előre összefoglalás elvileg 3 alapítvány  $\rightarrow$  3 merülés  $\hookrightarrow$  13,7 milliárd. éve

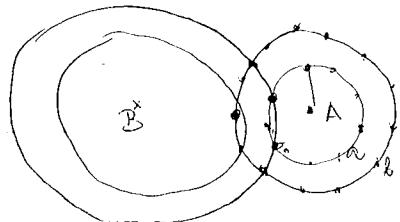
hogyan jutottunk ehhez az elvileghez?

Kozmológiai elv: az univerzum homogen és izotróp (postulatum)  $\rightarrow$  bármelyben megfigyelhető a csillagászati megfigyelései alapján jönök tünt.

Minden pontból nézve legyen ilyen  $\rightarrow$

$\rightarrow$  Kopernikusi - elv (ez is feltéhetjük)

ha feltessük a Kopernikusi elvet nincs szükség minden fölötti izotropia v. homogenitás



a, b -n egyformán a szürűségek  
de a-n és b-n nem egyforma  
de ha B -ból nézük ~~az~~ kijön  
a homogenitás az izotrópiából  
homogénból nem következik az izotropia  
(pl. triaxialis talvolodás)

Tehát a feltéves: minden pontból nézve  
izotrop az univerzum

### Sebességter

homogenitás, izotropia  $\Rightarrow$  lineáris sebességmérő:

$$\mathbf{v}_k = C_{ki}(t) \mathbf{x}_i$$

C mátrix töltése lehet mindenfélle példára  
a dián  $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$  nem izotrop

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{ez sem}$$

izotrópiát megköveteljük

$$C_{ii} = \frac{1}{2}(C_{xx} + C_{yy}) + \frac{1}{2}(C_{xx} - C_{yy}) = S_{ii} + A_{ii}$$

szimmetrikus + antiszimmetrikus

antiszimmetrikus nem megengedett  $\Rightarrow S_{ii}$  lesz

$$v_i = S_{ii} x_i \Rightarrow S_{ii} = S_{ii}$$

ezt diagonalizálhatjuk

$$S_{ii} = S \delta_{ii} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = S$$

időben  $S(t)$  változhat

$\Rightarrow$  sebességmérő vagy tágul vagy szűkülni

minél távolabb annál nagyobb sebesség

dinamikai egyenletek ellenet még

hidrodinamikai megközelítést alkalmazunk

(N.K.: Elm. mecha. 241.o.)

kontinuitás

$$\frac{\partial \mathbf{g}}{\partial t} + \operatorname{div}(g\mathbf{v}) = 0$$

$$\partial_t g + \partial_i(gv_i) = 0$$

$$\partial_i \partial_i U = 4\pi G g$$

Laplace - Poisson egyenlet

$$v_i = S(t) \delta_{i\epsilon} x_\epsilon \quad \text{homogéni elv}$$

$$\text{Ejön, hogy: } \left[ \begin{array}{l} \dot{S} = -\frac{g}{g} \quad (1), \\ 3(S + S^2) = -4\pi G g \quad (2) \end{array} \right]$$

S-est szereznénk ebből kihozni

$$\frac{\dot{g}}{g} = \frac{\partial}{\partial t}(\ln g) = -3S \rightarrow -3\ddot{S} = \frac{\partial^2}{\partial t^2}(\ln g)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2}(\ln g) = 4\pi G g + 3S^2$$

statikus univerzumban  $\dot{t} = 0$ , de  $S^2 \geq 0$  és  $g \geq 0$  $\Rightarrow$  statikus univerzum csat alkor lehet ha  $g = 0$ ,  $S = 0 \Rightarrow$  nincs anyag a statikus univerzumbanha anyagot raktunk belle alkor  $g$  változik időben íj változó:  $S(t) \rightarrow R$   $S = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)}$  objekt meg igy

$$\int S(t) dt = \ln \frac{R}{R_0} \leftarrow \text{integrációs konst.}$$

$$R(t) = R_0 \exp \left( \int_{t_0}^t S(\tau) d\tau \right)$$

$$v_i = S(t) x_i$$

$$(1) \rightarrow \dot{g} + 3 \frac{\dot{R}}{R} g = 0$$

$$v_i = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} x_i$$

$$\frac{\dot{g}}{g} + 3 \frac{\dot{R}}{R} = 0$$

$$\ln g + 3 \ln R = \text{konst.}$$

$$\ln(gR^3) = \text{konst.}$$

$$\ln \left( \frac{4\pi}{3} g R^3 \right) = \text{konst.}$$

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

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

morgás (Euler) egyenlet

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \operatorname{grad}) v = \frac{1}{g} f - \underbrace{\frac{1}{g} \operatorname{grad} p}_{\text{gravitációs}}$$

erősség

$$\partial_t v_\epsilon + v_\epsilon \partial_\epsilon v_\epsilon = -\partial_\epsilon U$$



gravitációs pot.

Laplace - Poisson egyenlet

$$v_\epsilon = S(t) \delta_{i\epsilon} x_\epsilon \quad \text{homogéni elv}$$

$$\text{Ejön, hogy: } \left[ \begin{array}{l} \dot{S} = -\frac{g}{g} \quad (1), \\ 3(S + S^2) = -4\pi G g \quad (2) \end{array} \right]$$

S-est szereznénk ebből kihozni

$$\frac{\dot{g}}{g} = \frac{\partial}{\partial t}(\ln g) = -3S \rightarrow -3\ddot{S} = \frac{\partial^2}{\partial t^2}(\ln g)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2}(\ln g) = 4\pi G g + 3S^2$$

statikus univerzumban  $\dot{t} = 0$ , de  $S^2 \geq 0$  és  $g \geq 0$  $\Rightarrow$  statikus univerzum csat alkor lehet ha  $g = 0$ ,  $S = 0 \Rightarrow$  nincs anyag a statikus univerzumbanha anyagot raktunk belle alkor  $g$  változik időben íj változó:  $S(t) \rightarrow R$   $S = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)}$  objekt meg igy

$$\int S(t) dt = \ln \frac{R}{R_0} \leftarrow \text{integrációs konst.}$$

$$R(t) = R_0 \exp \left( \int_{t_0}^t S(\tau) d\tau \right)$$

$$v_i = S(t) x_i$$

$$(1) \rightarrow \dot{g} + 3 \frac{\dot{R}}{R} g = 0$$

$$v_i = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} x_i$$

$$\frac{\dot{g}}{g} + 3 \frac{\dot{R}}{R} = 0$$

$$\ln g + 3 \ln R = \text{konst.}$$

$$\ln(gR^3) = \text{konst.}$$

$$\ln \left( \frac{4\pi}{3} g R^3 \right) = \text{konst.}$$

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi G}{3} R g = -MG \frac{1}{R^2} \quad / \cdot \dot{R}, \int$$

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

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

$\downarrow$   $\rightarrow$  potenciális energ.  
kinetikus tag ~~energia~~

Friedman - egyenlet

lehetőséges megoldások:

- ↳ Kinetikus < potenciális: tágulás + összerosadás
- ↳ > : tágulás végtelenig
- ↳ = : lassuló tágulás

Általános relativitásból érthetően cíján mi az  
-egyenlet  $\rightarrow R, M, E$  címében cíján mi az

Pontos szimultánok alapján az egyenlet:

$$\ddot{R} - \frac{8\pi G g}{3} R^2 = E$$

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

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

'a' definíciója:  $a = \frac{R}{R_0} \leftarrow$  mai időpillanatban van [m]

Igy azt mutatja meg, hogy mihoz képest  
hogyan változik

$S = \frac{R}{R_0}$  dimenziója alapból  $\frac{1}{S}$  ami jó, de

$R$ -nem nem ekkor talvolságnak lenne

$a_0 = 1 \rightarrow$  mai időbeli érték

'a' egy méretaránya faktor, ami megmutatja

$a_0 = a(t=0) = 1$  az időbeli változást

$\epsilon$ : a térgörbületre utal  $\Leftrightarrow$  melykor az össz-  
energiája az univerzumnak

oldja meg a Friedman - egyenletet

$E > 0, E < 0, E = 0$  megoldás lehet

①  $E = 0$ 

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

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

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

nem tudjuk mennyi az univerzum összenergiája

②  $E > 0$ 

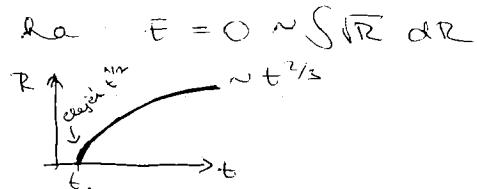
$$R = \frac{GM}{2E} (\cosh \tau - 1)$$

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

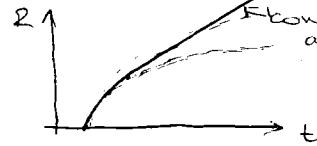
③  $E < 0$ 

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

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



összenergiája  
Ekonst. eset  
ássumpt.



Melyik az igaz? Ha a cell nemű a sebességekkel megegyezik a tömeget!

pl. kivágnunk egy részletet  $\rightarrow$  tömegelisi sebessége a Hubble konstans  $\rightarrow v = Hd$  ( $H = \pm 1 \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}$ )

Erre hasonlítunk össze a tömeget ... 😊

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

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

$$(g_{\text{crit}} - g) \frac{4\pi G}{3} R^2 = E$$

(eretet cell nemű most)

$$\text{Rálmajlut: } \frac{3}{8\pi G} \left( \frac{\dot{R}}{R} \right)^2 = g_{\text{crit}} = \frac{3H^2}{8\pi G} = \frac{10 \text{ db H atom}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{array}{llll} E = 0 & \Leftrightarrow & g = g_{\text{crit}} & \Leftrightarrow \Omega = 1 \Leftrightarrow \epsilon = 0 \\ E < 0 & \Leftrightarrow & g > g_{\text{crit}} & \Leftrightarrow \Omega > 1 \Leftrightarrow \epsilon = 1 \\ E > 0 & \Leftrightarrow & g < g_{\text{crit}} & \Leftrightarrow \Omega < 1 \Leftrightarrow \epsilon = -1 \end{array}$$

eneket 1%-a van

új formológiái fogalom:  $h = \frac{S}{S_{\text{crit}}}$

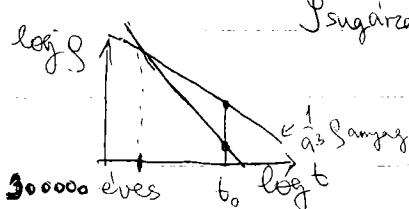
I. nem csak az anyagsűrűségekből jöhet, hanem pl. a sugar-

zásból

$$\text{Anyag} \sim \frac{1}{a^3}$$

$$\text{Sugárzás} \sim \frac{1}{a^4}$$

(1000-szer kevesebb, mint anyag)



(györke elegyénkut  $^{1/2}$ )

Sugárzás, anyag dominál

Kísérletek, megfigyelések a XX. században, amik az összobbán a climat elvétet alapították:

1) Hubble-típ. jelvényezése

2) Korábban sokkal nagyobb sűrűség és hőmérséklet  $\rightarrow$  viszonylagosan 13,7 milliárd éves ma az universum

$$\frac{1}{H} = T_H \text{ (Hubble-idő)} \approx 21 \text{ milliárd év}$$

$E_B$	$T$	a	$t$	sziszatalakulás
1 GeV	$10^{13}$ K	$2 \cdot 10^{-13}$	$10^{-6}$ s	
1 MeV	$10^{10}$ K	$2 \cdot 10^{-10}$	1 s	
1 keV	$10^7$ K	$2 \cdot 10^{-7}$	22 nap	
1 eV	$10^4$ K	$2 \cdot 10^{-4}$	60 000 év	recombínáció
1 meV	27 K	1	$13,7 \cdot 10^9$ év	

Négyen más volt az anyag  $\rightarrow$  nagy energiával nem atomok meg molekulák, hanem夸arkok és gluonok  $\Rightarrow$  sziszatalakulások

pl.夸ark  $\rightarrow$  hadron 200 GeV-on

primordialis  
... nukleoszintézis (He atommagok)

+  
előtte til meleg utána til ritka

H atommagok, He atommagok, <1% Li

: recombínáció 380 000 év  $\rightarrow p^+ + e^- =$  neutrális hidrogén atomok

ezelőtt a fotonok erősen sűrűdültek a töltött részeken, recombínációval lecsökölődik a sugárzás az anyagról, mert semlegesek nem sorolják a sugárzást  $\rightarrow$  eredet kine tudni mennyi ma is  $\approx 3000$  K volt akkor a hőmérséklet azóta csökkenésre költ az universum  $\Rightarrow$  3K-es

fotonháttér az örökrámaselmelet predictioja  
 1965 - ben felejtetik fel a Cozmicus micro-  
 (Penzias, Wilson) nullamű hattersegét  
 rádiótávcsővel vettek észre, hogy minden  
 honnan jön a raj (3K-es)  
 ez a másik alappillérek

### 3) Eötvös elemek előfordulási aránya

25% He 75% H nemzető spektrosz-  
 kópiával csillagokban, galaxisban  
 primordialis nukleosintezis modellek egyéb  
 Planck idő  $10^{-42}$  s  $\rightarrow$  ez előtt nem éltjük  
 az univerzum fizikáját  $\Rightarrow$  nem biztos  
 hogy volt robotika

Problémák a big bang elmélettel:

$\hookrightarrow$  horizont probléma:

horizontom  $2 \cdot 10^5$  fényv. sugarú  
 5 tizedesjegy pontossággal megfejezik a  
 tételesben a homorésekkel  $\rightarrow$  causális  
 kapcsolatban nem lehetet, tehát nem  
 lehet ilyen pontosnak lennie

$\hookrightarrow$  struktúra:

nem egyenletes az anyagelosztás  
 a lecsatolóda's elől.  $\approx$  homogén volt  $\frac{\Delta g}{g} = 10^{-5}$   
 gravitációs vonáselosztás  $\rightarrow$  foton ha ejtjén  
 egy gravitációs gázról kicsit csökken  
 a frekvenciája

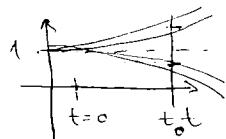
1990. Co.B.E Lüszöndi mérte ki a  $\frac{\Delta g}{g}$ -t. e's T-t  
 mitől volt ez a  $\frac{\Delta g}{g}$ ? miért nem 0?  
 nem tudjuk, de ez magyarázza a szék.-t

↳ finomhangolás probléma

$\Omega = \frac{S}{S_{\text{crit}}} \leftarrow$  lenne van a Hubble-const.  $\rightarrow$  változik az időben  $S_{\text{crit}}$

leverehető  $\Rightarrow (1-\Omega) \sim t^{2/3}$

tudjuk



$1/2 < \Omega < 2 \rightarrow$  többet van!

ha  $\Omega > 1$  akkor 1% -kal accor 20 perc lenne az univerzum életéora

eredeti rendetén  $\Omega = 1$  keleti, mely legyen nagyon (sor jege) pontosan

$\rightarrow$  miért? ki állította be?

Ezre a problémára nem ad választ az összehangolás elmelet.

Jöhet az infláció: ... en itt feladtam, de van könyv Einstein meg a termológiai konstans (A)

↳ majd nem kell kincsrendetlen statikussá tenni az univerzumot

↳ ez lenne a sötét energia  $\rightarrow$  meghibis van  $\Lambda$

$\lambda$ -val a Friedman-egy:

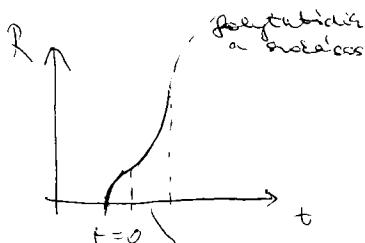
$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G g}{3} - \frac{E}{R^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

több eredetűről van  $\lambda \neq 0 \rightarrow$  nem figy R-töl

g-val arányos, E-vel arányos tag elhanyagolhatóval valik! egy más után a tágulás univerzumban

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{\Lambda}{3} \rightarrow \frac{\dot{R}}{R} = H_1 \sqrt{\Lambda}$$

$$R = R_1 e^{H_1(t-t_1)}$$



exponenciális tágulás  $10^{-34}$  és  $10^{-31}$  s többit  $\rightarrow$  infláció

megáll az infláció, mint a  $\Lambda$  rövidített  $\rightarrow$  Higgs bozon lett ami tömeget adott a részecskéinek. A váriumenergiával telíthető, ami anyaggá válás  $(c\delta \sim R)$

ez az infláció a korai szakasban megoldja az előző 3 problémákat

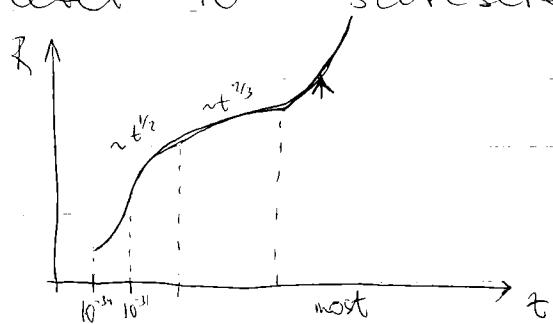
(1981. A. Guth javasolta ezt)

az univerzum skalafaktorának változása gyorsabb, mint c. az infláció alatt így volt tiszális kapcsolat  $\Rightarrow$  horizontprobléma nem problema

a struktúra megmaránya, hogy egy protonnal is eisebb volt infláció előtt előtt az univerzum  $\Rightarrow$  quantumfluctuációt növelte többek között a méretűre az infláció

3. problémája:

$c=0$  rövidről nézve ~~ke~~ egy görbült felületet  $10^{50}$ -szervésre növelte „nincs” görbület



IA típusú supernova't standard gyertyák  
 $\hookrightarrow$  nagy távolságban a Hubble-constans nem  $\exists$

hanem  $\exists$   $\rightarrow$  tehát távolságra terültek mint keltett volna  $\rightarrow$  van  $\Lambda$  tasztó  $c\delta$   $\Rightarrow$  időri infláció  $\rightarrow$  gyorsulva tágulás a ma már ~~az~~ eredmény

$\Lambda =$  a sötét energia

legvalószínűbb, hogy olyan mint a term. konst.