

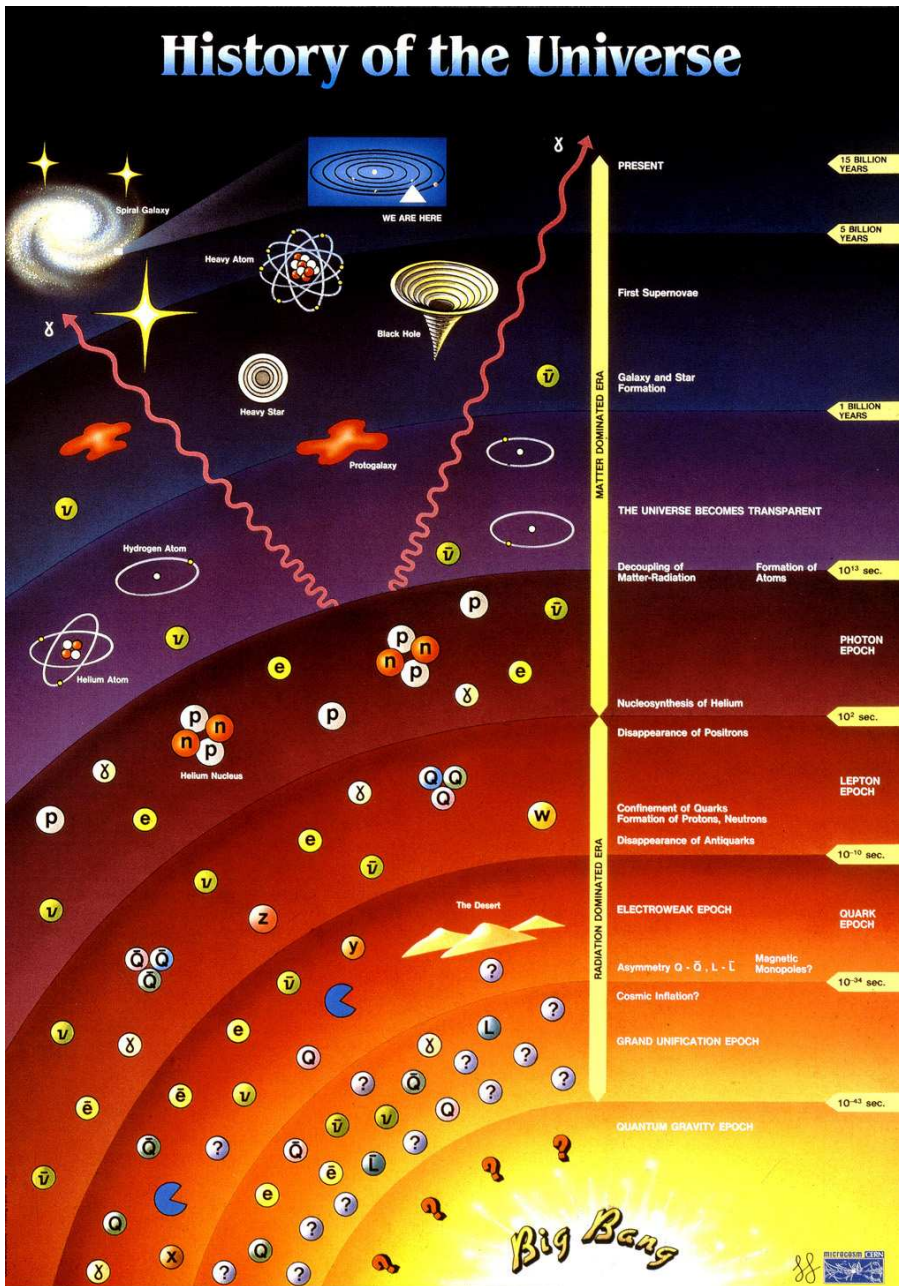
A világegyetem története

- Korai világegyetem modellek
- Hubble: táguló világegyetem, kozmológiai elv
- gyorsulva tágulás
- A nagy bumm
 - kozmikus háttér sugárzás
 - magszintézis
 - sötét anyag
 - infláció
- Problémák

Egységek

- sebesség: $c = 3 \cdot 10^5 km/s$
- távolság: fényév = $9,46 \cdot 10^{12} km$; $1 fm = 10^{-15} m$
- tömeg: $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} kg$; $1 eV/c^2 = 1,78 \cdot 10^{-36} kg$
- energia: $1 eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J$
- hőmérséklet: $1 eV/k = 1,16 \cdot 10^4 K^{\circ}$

History of the Universe



0.3 eV 300 000 év univerzum átlátszó

0.1 MeV magzintézis

10^2 MeV 10^{-4} s kvark-gluon-fázisátalakulás

10^2 GeV elektroyenge-fázisátalakulás

10^{16} GeV

infláció, fluktuációk

10^{19} GeV

A Világegyetem “földrajza”

Naprendszer

- Plutó-pálya sugara $5.9 \cdot 10^9 \text{ km} = 5.9 \cdot 10^{-4} \text{ fényév}$
- a Naprendszer sugara 1 fényév
- legközelebbi csillag Alpha Centauri 4,6 fényév

Tejút

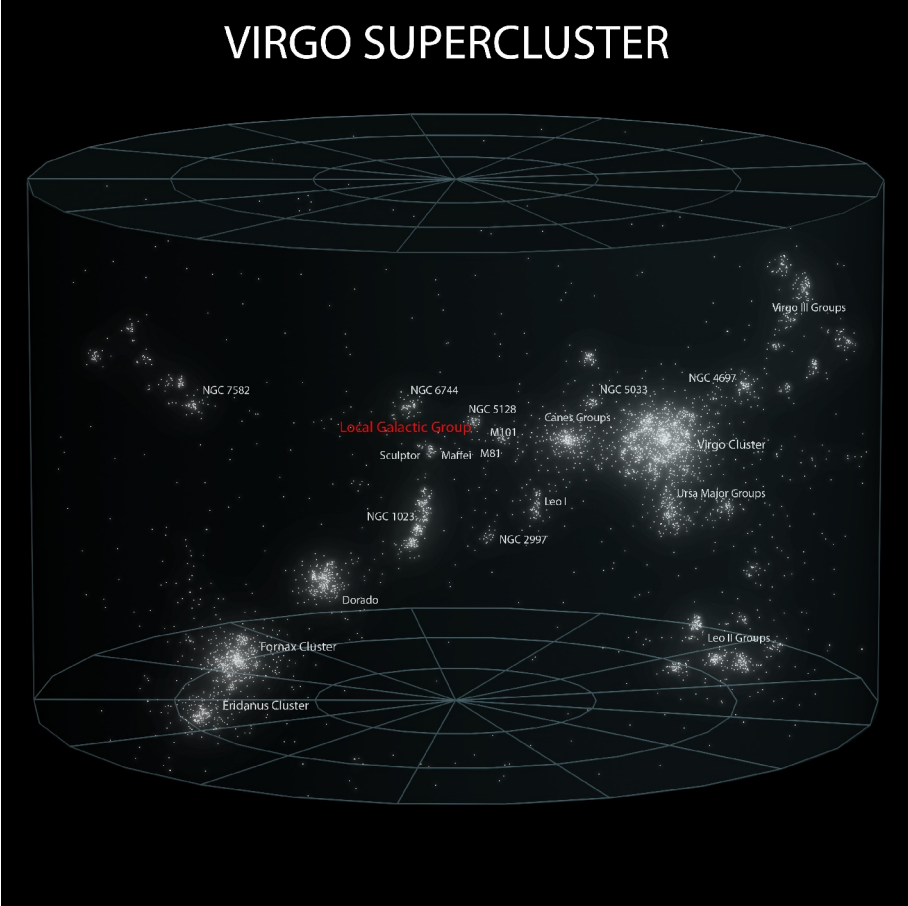
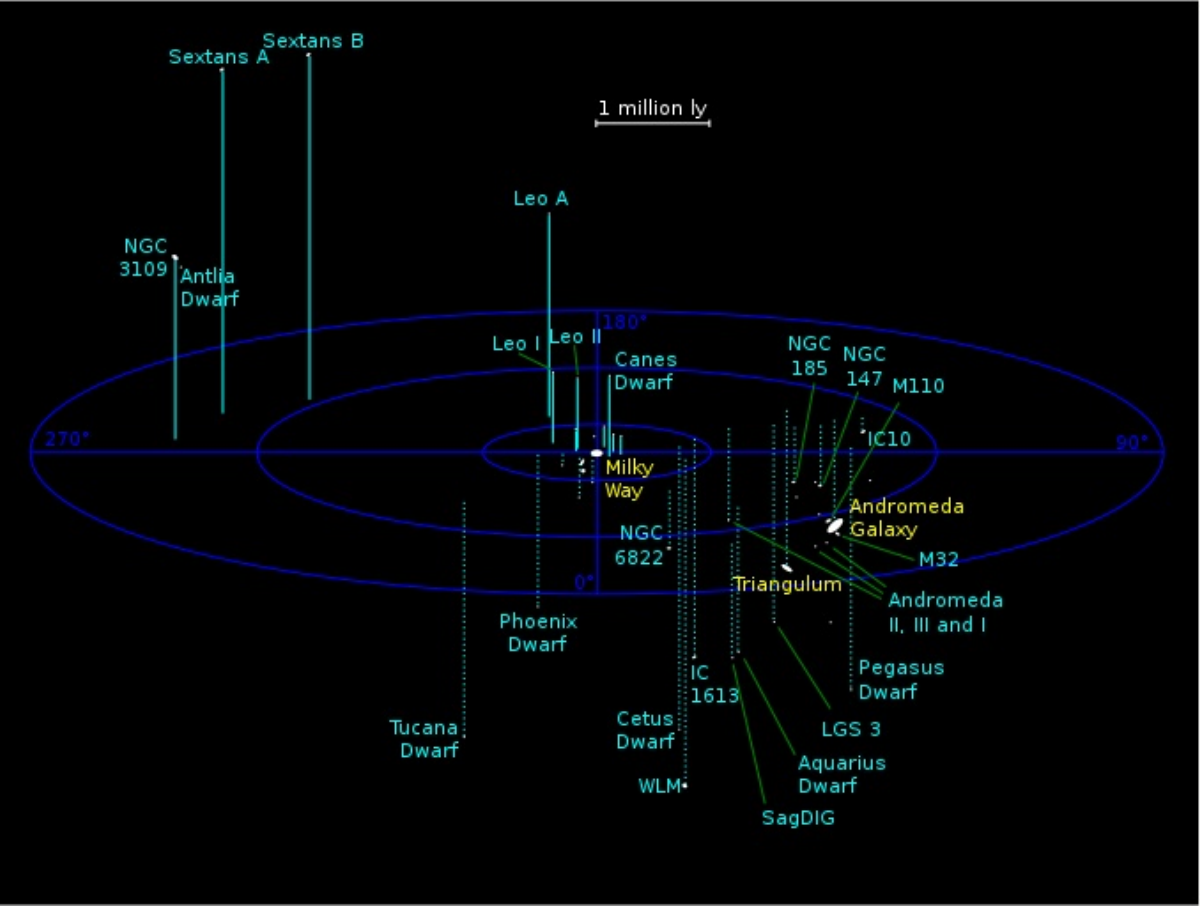
- Tejút átmérője 100 000 fényév
- Nap 30 000 fényévre a galaxis centrumától
- Nap a 2000 fényév átmérőjű Orion-karon (Szagitáriusz, Perszeusz)
- 300 milliárd csillag
- Tejút 100 km/s sebességgel megy az Androméda felé, 2 millió fényév
- Tejút 600 km/s sebességgel mozog a kozmikus háttérhez képest

Lokális-csoport

- 20 galaxist tartalmaz, sugara 2 millió fényév
- Magellán-felhő 150 000 fényévre a Tejúttól
- a Lokális-csoport 250 km/s-sel mozog a Virgó halmaz felé

Virgo Lokális-szuperhalmaz

- Virgó sugara 75 millió fényév
- A Lokális-csoport 50 millió fényévre van a Virgótól
- egy nagy szuperhalmaz a Nagy-Vonzó 300 millió fényévre van



Univerzum

- szuperhalmazok a legnagyobb gravitációsan kötött rendszerek
- Hatalmas szálak, falak, óriási üregek vannak
- a legtávolabbi észlelt galaxis 15 milliárd fényévre van

tömegskálák

csillag	$1 M_{\odot}$
gömbhalmaz, törpegalaxis	$10^6 M_{\odot}$
galaxis (Tejút)	$10^{12} M_{\odot}$
galaxis csoport	$10^{13} M_{\odot}$
halmazok	$10^{14-15} M_{\odot}$
szuperhalmazok	$10^{16} M_{\odot}$

Korai világmodellek

- Arisztotelész: Föld mozdulatlan, bolygók, nap, csillagok körpályán forognak körülötte
- Ptolemaiosz: 8 szféra 5 bolygó, nap, hold, csillagok
- Kopernikusz: napköri körpályán
- Galilei: Jupiter-holdak, nem lehet a Föld a középpont
- Kepler: ellipszis pályák, Kepler-törvények
- Newton-törvények, tömegvonzás
- Olbers-paradoxon + nem lehet végtelen stabil gravitációs rendszer
- Hubble: a világegyetem tágul
- Perlmutter: a világegyetem gyorsulva tágul

Táguló világegyetem

Kozmológiai elv: A világegyetem minden pontjából ugyanúgy néz ki.
A Földről izotróp, minden pontból izotróp. Világegyetem homogén.

Távolságmérés

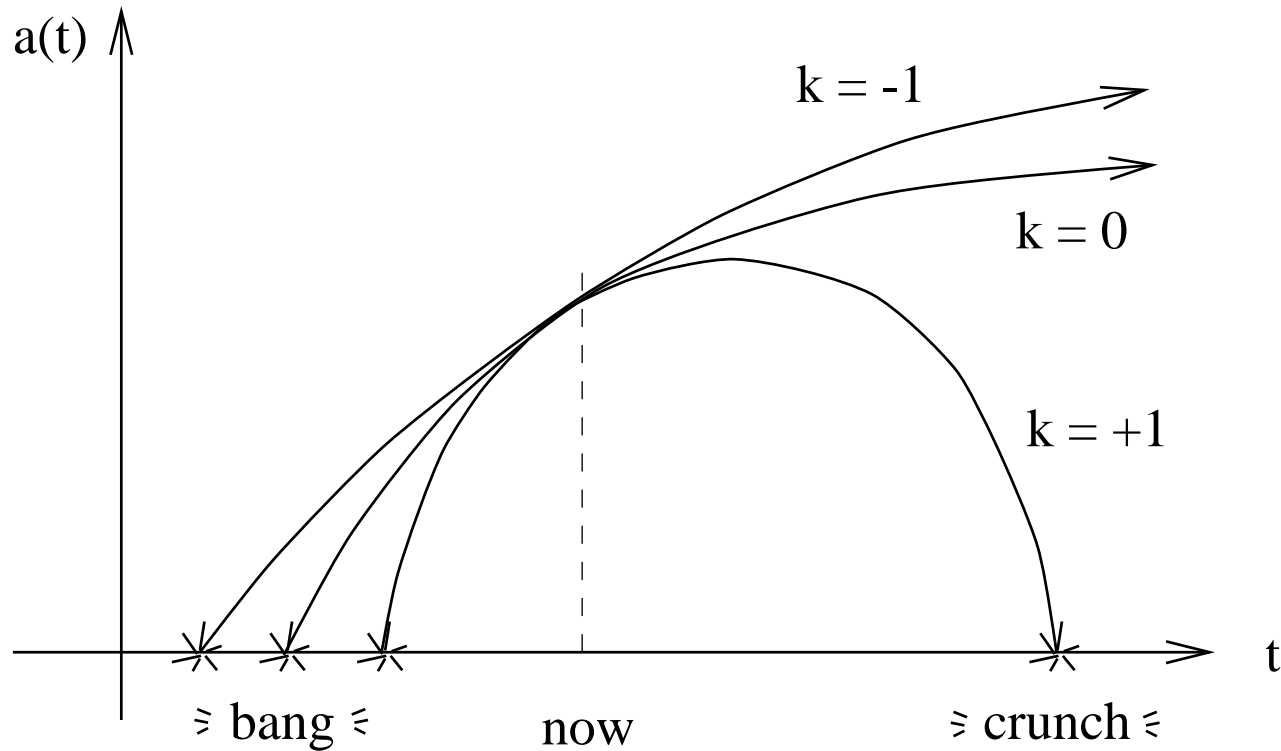
- közeli csillagok: háromszögelés (Föld pályájának átellenes pontjaival)
- Tejút: Cepheidák (változó csillagok) fényesség ismert a változás periódusának függvényében
- 1A-típusú szupernóvák fényessége ismert
kettős csillag egyike szubkritikus elszívja a másiktól az anyagot és kritikussá válik $M = 1,4M_{\odot}$, s felrobban

Vöröseltolódás: a Nap (csillagok) színekében elnyelődési vonalak vannak
— távoli csillagokra ezek eltolódnak, magyarázat: Doppler-effektus

Hubble: megfigyelés: a világegyetem tágul, és

$$v = H \cdot r \quad H \approx 15 - 20 \text{ km/s/1 millió fényév}$$

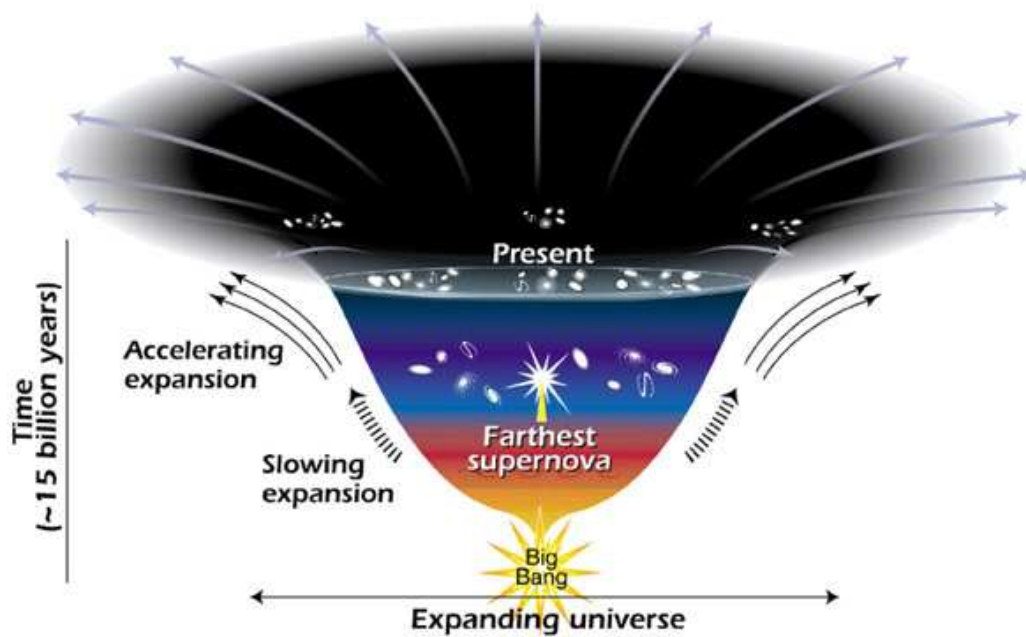
Nagy Bumm



Szingularitás tétel: minden univerzum, melyre $e > 0$, $p \geq 0$ szingularitással kezdődött (Nagy Bumm)

Gyorsulva táguló világegyetem

A legtávolabbi szupernóvákat vizsgálva kiderült, hogy távolabb vannak mint vörös eltolódásból következne



This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers theorize that the faster expansion rate is due to a mysterious, dark force that is pushing galaxies apart.

A forró Nagy-Bumm elmélet

A forró Nagy-Bummra utaló tények

- Hubble tágulás
- Kozmikus háttér sugárzás ($T \approx 1eV, t \approx 300000\text{év}$)
- magszintézis ($T \approx 1MeV, t \approx 1s$)

Megoldandó problémák

- Miért közel sík az univerzum?
- Miért homogén (100 millió fényév léptékben) az univerzum?
- Az univerzum nagyléptékű struktúrájának oka, galaxis keletkezés?
- Miért van több anyag, mint antianyag?
- Miből áll az univerzum? Sötét anyag, sötét energia? Exotikus részecskék? Ősi fekete lyukak?

Kozmikus háttér sugárzás

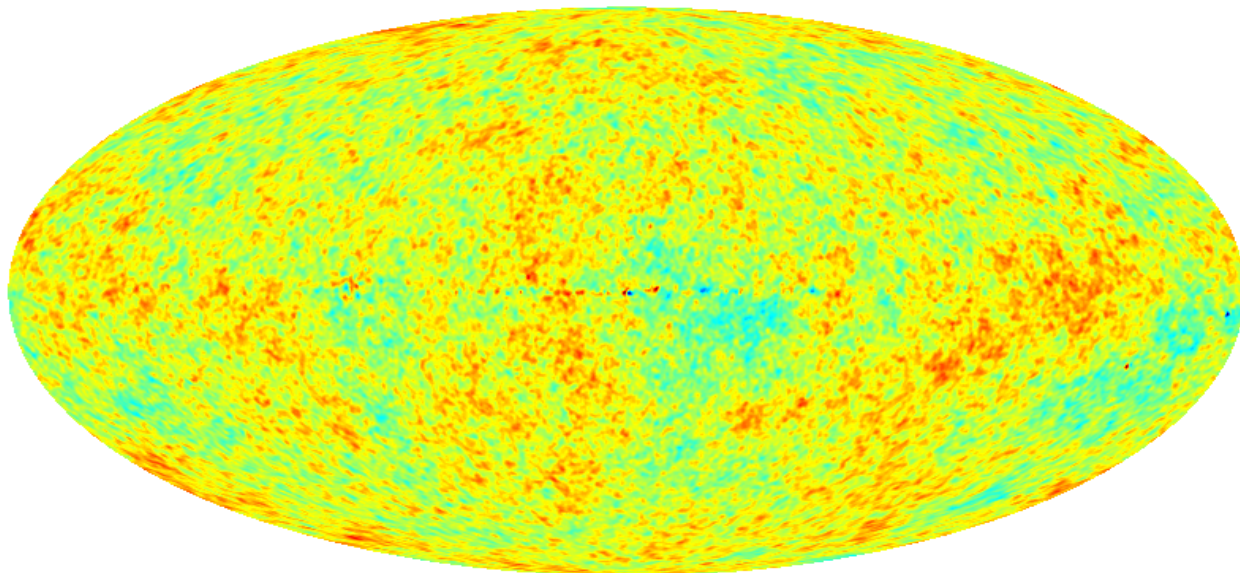
Penzias, Wilson zajt találtak nagyon érzékeny antennájukban

Gamow és Dicke korábban megjósolták

Kizárja az állandó állapotú világegyetem elméletét

Nagyon izotróp, feketetest sugárzás $T = (2.736 \pm 0.017)K^{\circ}$, $\delta T/T < 10^{-4}$

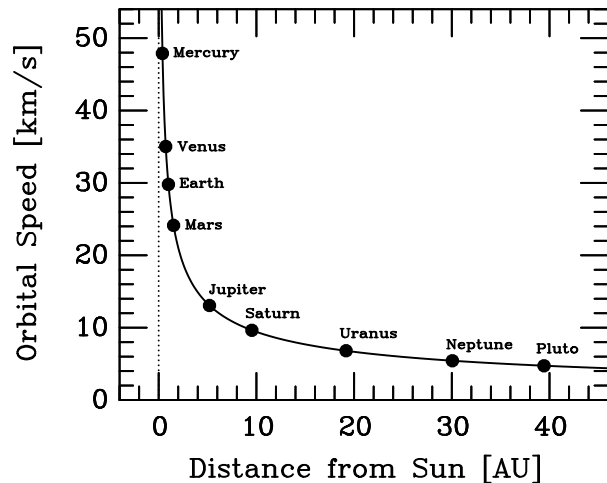
Spektrum megadja az inhomogenitásokat az atomok kialakulásának idején



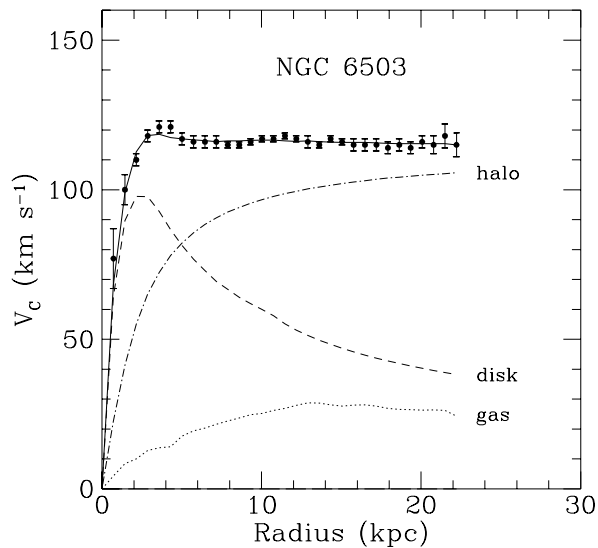
Sötét Anyag

Galaxis skálától fölfelé: fényes anyag sokkal kisebb mint gravitáló tömeg

Spirális galaxisok forgási ábrái



Naprendszerben $v \sim 1/\sqrt{r}$



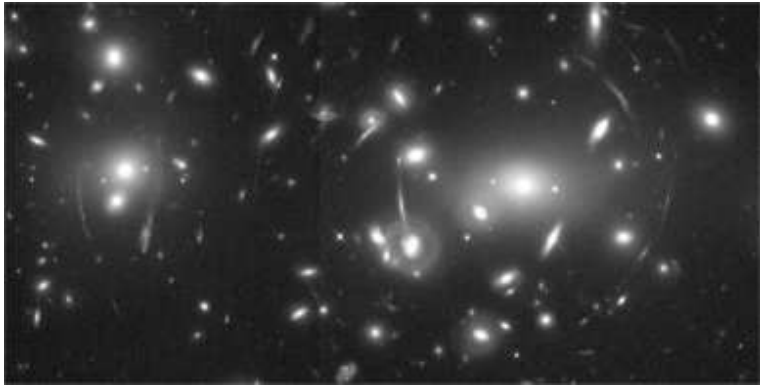
30-as évek: Andromédában a centrumtól távoli csillagok szokatlanul gyorsan mozognak

minden galaxisnál megfigyelték, Tejútnál is

Sötét Anyag galaxis-halmazokban

Galaxis-halmazok (Coma-halmaz) mozgása:

gravitációs lencse: ívek eloszlásából közbenső galaxis-halmaz tömeg



Sötét Anyag jelöltek

Forró sötét anyag: könnyű kölcsönható részecske kiölte volna a kezdeti sűrűség fluktuációkat (amikből a galaxisok keletkeztek)

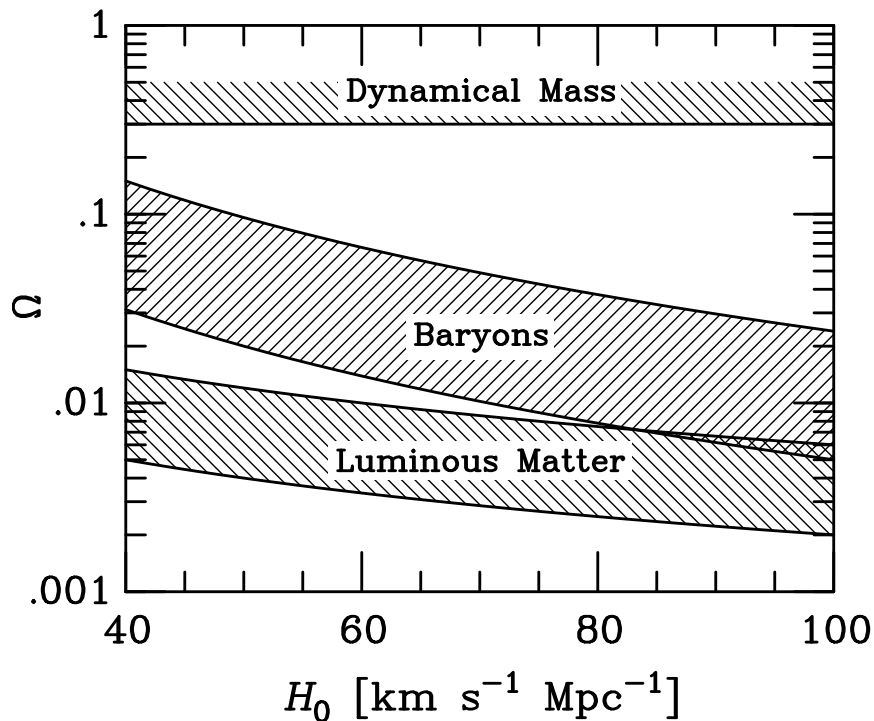
hideg, gyengén kölcsönható részecske (wimp) jobban megfelelne

- barionikus anyag: barna törpék, kiégett maradvány: fehér-törpék, neutron csillagok, fekete-lyukak

- neutrínók (30-40 eV magyarázza a sötét anyagot, nagyobb m kizárva) mint wimp egy negyedik család nehéz neutrínója lehetséges

- egzotikus, eddig nem ismert részecskék: axionok, szuperszimmetrikus részecske

- korai fekete-lyukak



A Forró Nagy-Bumm elmélet problémái

Az eredeti Forró Nagy-Bumm elméletnek van néhány problémája

- Simaság-probléma

$$\frac{e}{e_{\text{crit}}} - 1 = \Omega - 1 = \frac{k}{\dot{a}^2}$$

$$\text{magszintézis } (t \sim 1 \text{ sec}) : \quad |\Omega - 1| < \mathcal{O}(10^{-16}) \quad (1)$$

$$\text{elektro-gyenge skála } (t \sim 10^{-11} \text{ sec}) : \quad |\Omega - 1| < \mathcal{O}(10^{-27}) \quad (2)$$

$$\text{Planck skála } (t \sim 10^{-43} \text{ sec}) : \quad |\Omega - 1| < \mathcal{O}(10^{-60}) \quad (3)$$

- Horizont-probléma

1° -nál távolabbi pontok a CMB-háttéren nem lehettek oksági kapcsolatban

- monopólusok és más meg nem figyelt maradványok $1/a^3$, a fotonok $1/a^4$ szerint csökkennek, dominánsá válhatnak

- az eredeti kvantum-fluktuációk kis méretűek galaxis képződéshez

Infláció

Infláció olyan korszak, ahol

$$\ddot{a} > 0$$

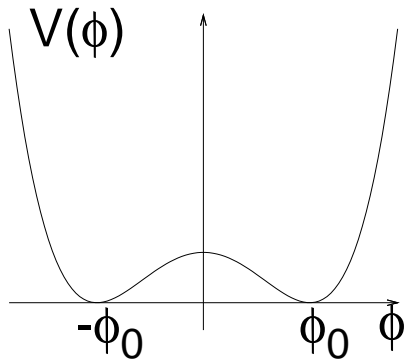
Mai becslések szerint az infláció e^{60} -szorosára növeli a -t: egy atomnyi méretet naprendszer-méretűre nő

- Simaság-probléma
az Ω exponenciálisan megy 1-hez. Az infláció tartama elég hosszú legyen, hogy még mindig $\Omega \approx 1$
- horizont-probléma: infláció előtt meg lehetett az oksági kapcsolat
- Egzotikus maradványok: fotonok $1/a^2$ szerint csökkennek, egzotikus maradványok $1/a^3$ szerint egyszerűen kiritkulnak
- nagyskálájú szerkezet: az infláció alatt a fluktuációk nagyra nőnek

Infláció magyarázata

Infláció lehetséges magyarázata:

Egy ϕ skalár-tér, amely nincs egyensúlyban, s lassan megy a minimuma felé. Az infláció addig tart, amíg a skalár-tér eléri minimumát.



$$e_\phi = \frac{1}{2}\dot{\phi}^2 + V(\phi)$$

$$p_\phi = \frac{1}{2}\dot{\phi}^2 - V(\phi)$$

Ha $V(\phi) \gg \dot{\phi}^2 \rightarrow p < \frac{e}{3} \rightarrow \ddot{a} > 0$

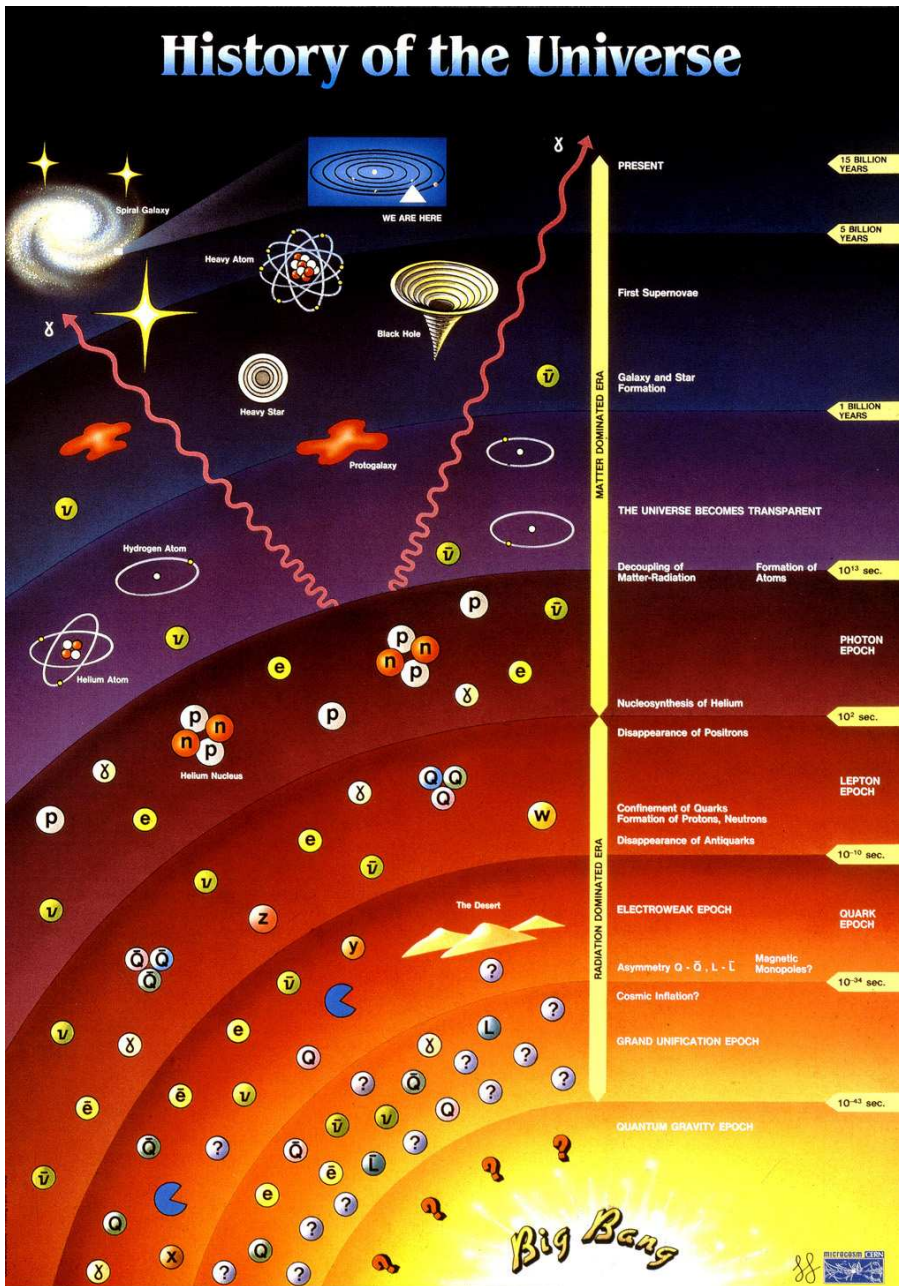
Lehetőség: elektro-gyenge fázisátalakulás. A Higgs-tér 0 értéke nem a minimális energiájú-állapot. A fázisátalakulás során a Higgs-tér felveszi a minimális energiához tartozó értékét.

Exponenciális infláció feltétele a potenciál lapos érintője $m_{Pl}V'/v \ll 1$, és kis görbület $m_{Pl}^2V''/V \ll 1$.

Korai világegyetem története

- első ps (10^{-12} s) Planck-éra, kvantum fluktuációk, infláció, 4 alapvető kölcsönhatás kialakulása
- korai univerzum (< 377 ezer év) 2 perc: proton neutron – atommagok
; 20 perc – $\approx 100\ 000$ év első molekulák – $\approx 377\ 000$ év semleges atomok, az univerzum átlátható, kozmikus háttérsugárzás
- Sötét korszak: 377 000 -1 000 000 000 év az első galaxisok, csillagok, újra fény
- mai világegyetem,
- jövő: csak a lokális környezet látható, majd minden kialszik

History of the Universe



0.3 eV 300 000 év univerzum átlátszó

0.1 MeV magzintézis

10^2 MeV 10^{-4} s kvark-gluon-fázisátalakulás

10^2 GeV elektroyenge-fázisátalakulás

10^{16} GeV

infláció, fluktuációk

10^{19} GeV

Problémák

- Planck-skála, kvantumgravitáció
- Infláció dinamikája
- elektroyenge fázisátalakulás
- struktúra képződés, galaxis-keletkezés
- sötét anyag mibenléte