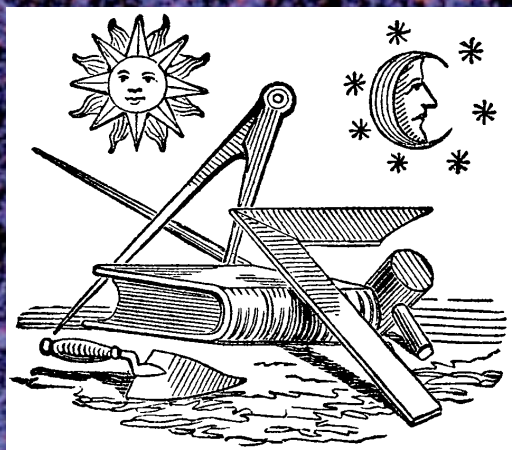
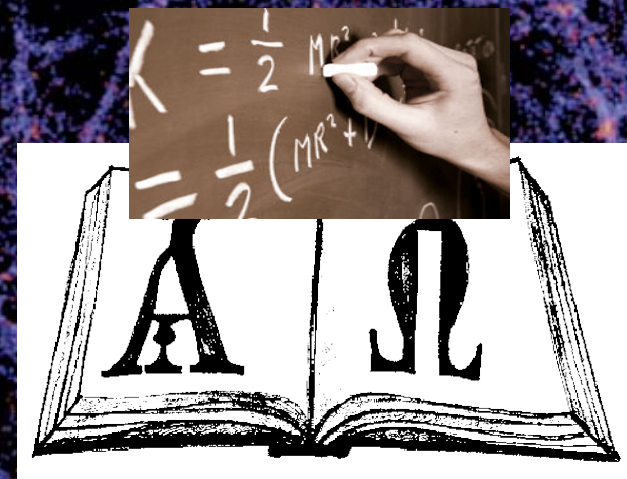


Kozmológia – egzakt tudomány vagy modern vallás?

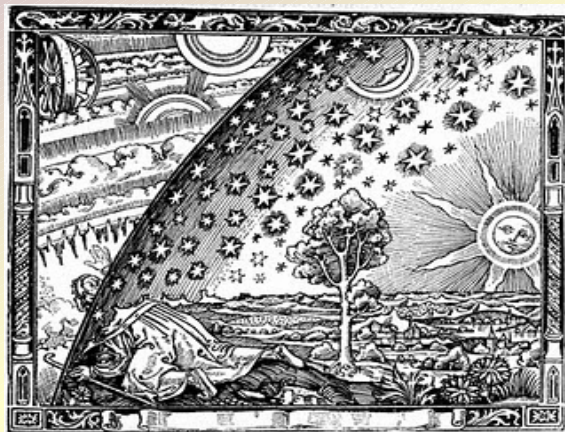
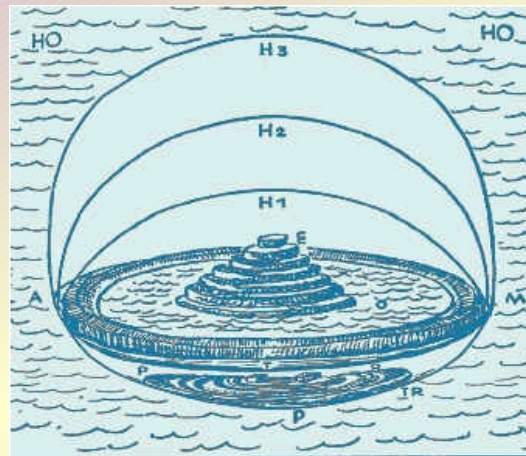
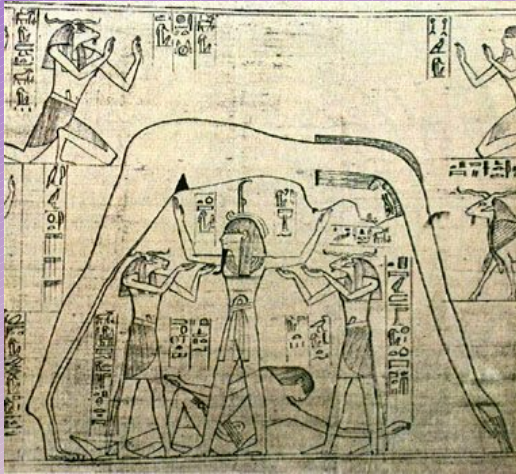


MOEV – 2010. április 10.



Előadó: Szécsi Dorottya
ELTE Fizika Bsc III.

Mit gondoltak őseink a Világról?



Un missionnaire du moyen âge raconte qu'il avait trouvé le point où le ciel et la Terre se touchent...

- A kozmológia a civilizációval egyidős
 - A gondolkodó ember igénye, hogy megértse a körülötte változó világot
- Vallás és kozmológia csak a modern korban vált el egymástól
 - Vallás: kinyilatkoztatáson alapul
 - Tudomány: elmélet és gyakorlat egybecsengően bizonyítja
- Tudomány-e a modern kozmológia?

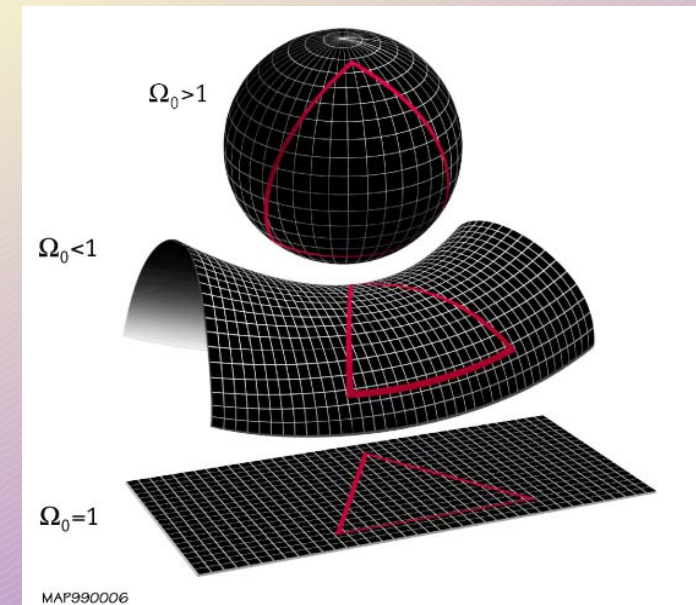
Kozmológia a XX. század elején

- Statikus világkép: nem tágul, nem húzódik össze a Világegyetem
- Einstein-egyenletek (1916): $R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R_{jj} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{ik} - \Lambda g_{ik}$
- Friedmann-egyenletek: homogén, izotrop eset

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

$$\frac{\ddot{R}}{R} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$

- k : a téridő geometriájának jellege
 - $k = 1$: zárt, $k = -1$: nyílt, $k = 0$: sík
- Λ : kozmológiai konstans
- R : skálafaktor, az „Univerzum sugara”

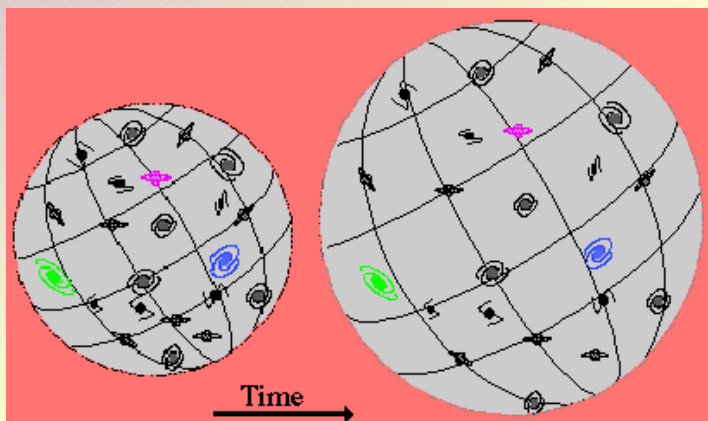


Az áttörés

- Hubble (1924):
galaxisok távolodnak egymástól

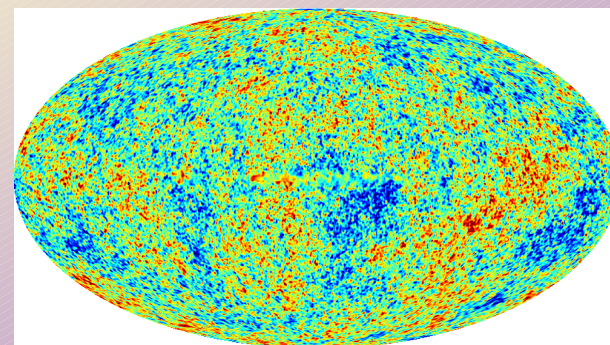
- Hubble-törvény:

$$v = Hd$$



- Penzias & Wilson (1964):
 kozmikus mikrohullámú
 háttérsugárzás

- 2,73K hőmérsékletű
- Szinte izotrop, feketetest
 sugárzás
- 10^5 nagyságrendig homogén

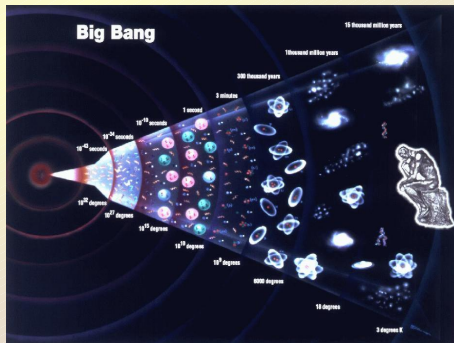


→ Forró, kicsi tartományból kellett kiindulnia!

Az ősrobbanás elmélete

• Alapfeltevései:

- Fizikai törvények térben és időben változatlanok
- Kozmológiai elv: van olyan „abszolút vonatkoztatási rendszer”, melyben homogén és izotrop az Univerzum = a térben minden pont lényegileg ekvivalens
- Gravitáció az egyetlen nagy hatótávolságú kölcsönhatás, általános relativitáselmélet írja le (Einstein-egyenletek igazak)



• Az Univerzum történelme:

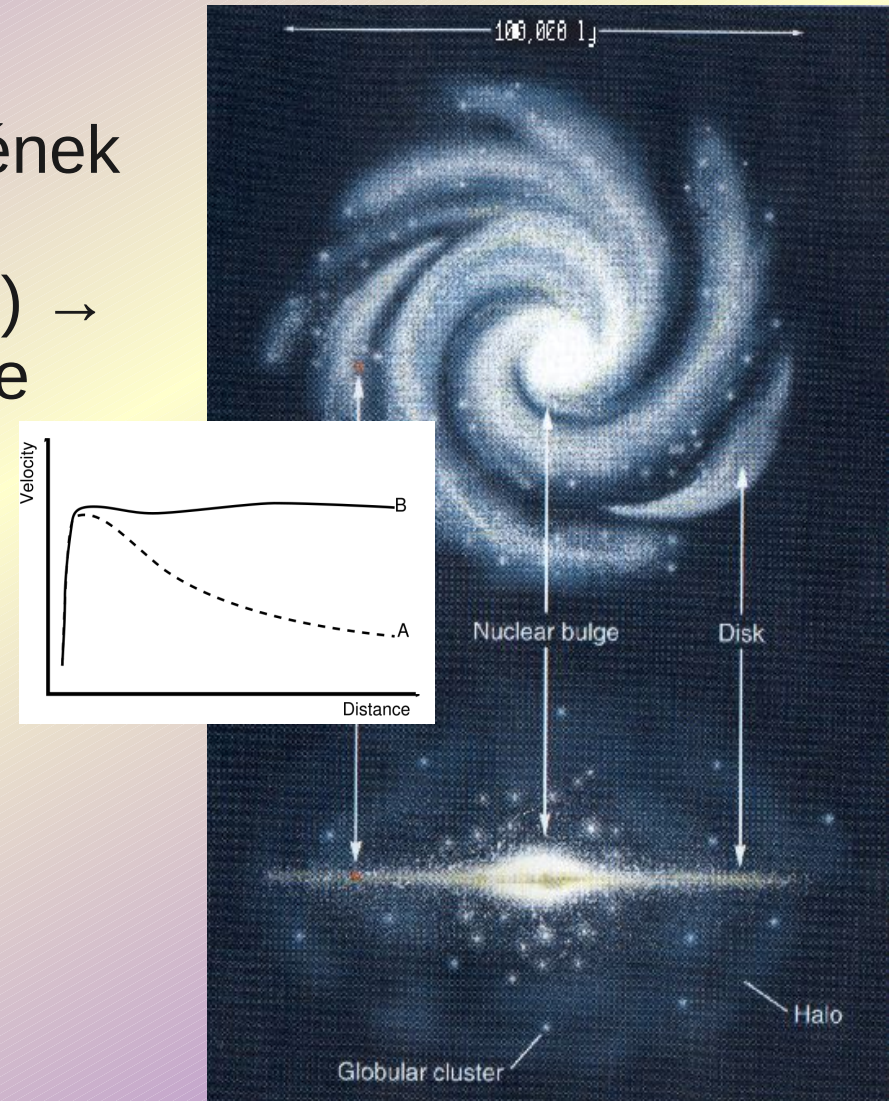
- 10^{-43} s: Plack-korszak (kvantumgravitáció)
- 10^{-30} s: „wuon”-korszak (elektrogyenge kölcsönhatás)
- 10^{-12} s: kvark-korszak
- 10^{-6} s: hadron-korszak
- 10^{-2} s: lepton-korszak
- 10 s: sugárzás dominált kor
- 10^6 s: anyag dominált kor, háttérsugárzás keletkezése
- 10^{10} s: galaxisok megjelenése, „első fény”

Problémák a standard modellben – a XX. század második fele

- Síkság problémája: $k=0$ nagyon pontosan (mérésekből), ehhez speciális kezdőfeltételek kellettek
- Megfigyelt homogenitás problémája: a háttérsugárzás izotóp – ehhez egyszer oksági kapcsolatban kellett lennie mindennek
- Honnan származnak a kezdeti fluktuációk, amik a galaxisok kialakulásához vezettek?
- **Inflációs kozmológia** elmélete (1980):
 - 10^{-32} s-kor
exponenciális felfúvódás
 - 30 nagyságrenddel
kitágul az Univerzum
 - Következményei:
 - Tér görbülete kellőképp kisimulhat a felfúvódás alatt
 - A felfúvódás előtt oksági kapcsolatban volt minden
 - Kezdetben kvantumfluktuációk, amiket a felfúvódás növelt makroszkopikus méretűre
- **Kérdés: milyen az Univerzum anyagi összetétele?**

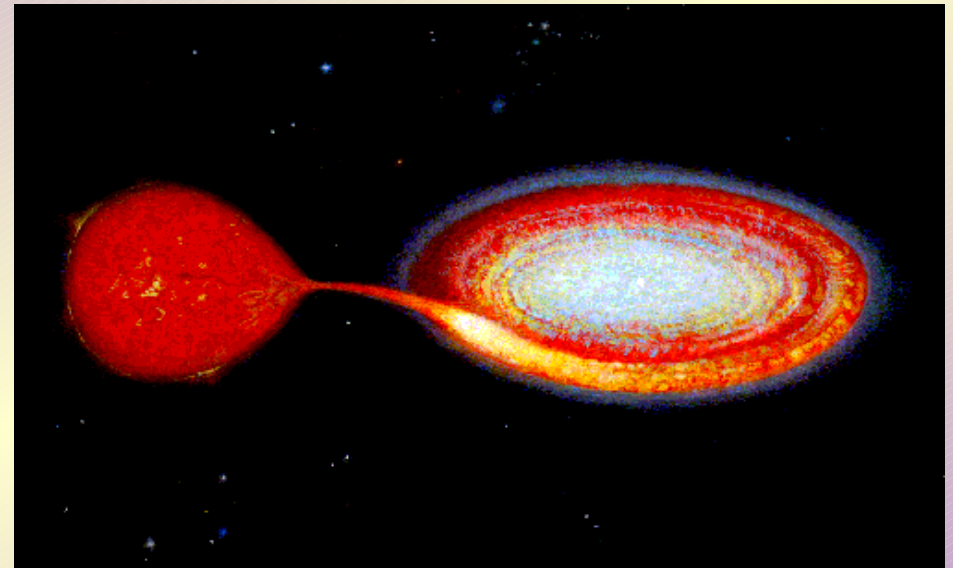
A sötét anyag

- Galaxisok dinamikája → a csillagok átlagos körsebességének mért értékét nem magyarázza a látható anyag mennyisége (1980) → **sötét anyag** létének feltételezése
- Miből állhat? Jelöltek:
 - Axionok: hipotetikus könnyű részecskék (bozonok), alig hatnak kölcsön anyaggal
 - WIMP-részecskék: gyengén kölcsönható, tömeggel rendelkező részecskék, pl. neutralínók (foton szuperszimmetrikus párja)



Gyorsuló tágulás, sötét energia – a XXI. század hajnala

- Szupernóvák Ia típusa (1998):
 - Szoros fehér törpe – vörös óriás kettős rendszer
 - $1,4 M_{\text{NAP}}$ átlépésekor (Chandrasekhar-határ) robban
→ abszolút fényesség állandó
→ távolság adódik
 - Távolabb vannak tőlünk, mint azt a galaxisok vöröseltolódása alapján várták
 - Világegyetem tágulásának üteme jelenleg gyorsul
- Magyarázat: a Λ kozmológiai konstans újrabevetése



- Ha Λ dominánsan nagy, a tágulás üteme gyorsul
- Fizikailag: „sötét energia”
- Jelölt: vákuum energiája (kvantummechanikailag: határozatlansági reláció → kvantumfluktuációk a vákuumban)

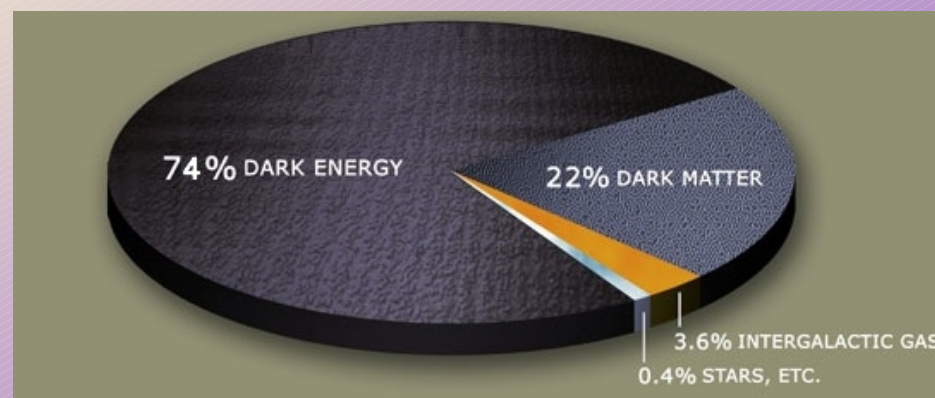
Mit gondolunk ma az Univerzumról?

• Λ CDM-modell:

- Homogenitás, izotrópia, kozmológiai elv
- Ősrobbanás
- Infláció
- Standard részecskefizika
- Sík Univerzum:
 $\Omega = 1,005 \pm 0,006$
- Λ dominál \rightarrow jelenleg gyorsulva tágul
- Kora: $13,7 \pm 0,2$ milliárd év
- Jövőkép: folytatódik a tágulás, „üres” Univerzum

• Az Univerzum anyagi összetétele:

- Barionos anyag: 0,045
 - Ebből közvetlenül megfigyelhető: 0,003
- Sötét anyag: 0,22
- Sötét energia: 0,74
- Egyéb:
 - EM sugárzás
 - Neutrínók

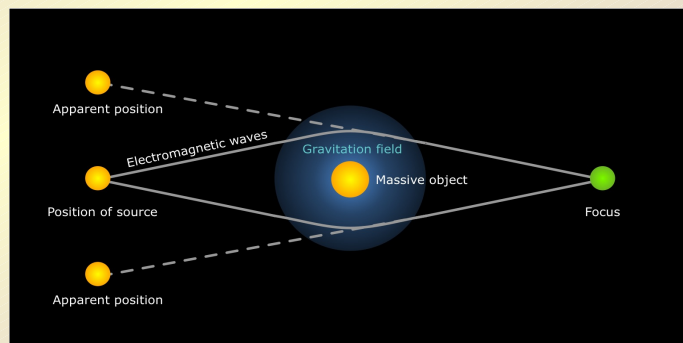


Konstans?

- Problémák a Λ CDM-modellel:
 - Milyen összetevők alkotják a sötét anyagot és a sötét energiát?
 - Az Ia típusú szupernóvákból kapott eredményeket (gyorsuló tágulás, Λ újra bevezetése, sötét energia) többeknek is sikerült megcáfolniuk (*Balázs et al. 2006*)
 - Elképzelhető, hogy a sötét anyag és a sötét energia kölcsönhat egymással
 - Λ =konstans jól leírja a megfigyelt Világegyetemet, de vannak más alternatívák is, amiket a megfigyelések megengednek, pl. fejlődhet időben
- Sok más elmélet van: mást jósolnak az Univerzum korára és egész történelmére!

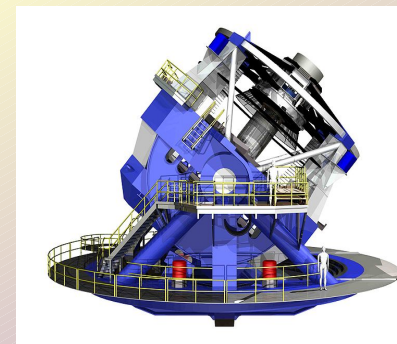
Kitekintés: jövőbeli kutatások

- **Gravitációs lencsézés:**
a szupernóvakétól független mérési módszer Λ -ra (2009)
 - Általános relativitáselmélet \rightarrow gravitáció meggörbíti a téridőt \rightarrow a fény görbe úton halad \rightarrow a háttér képe felnagyított, torzított és máshol látszik
 - Egy távoli kvazár fényét az előtérobjektum (nagy tömegű galaxis) úgy torzítja, mintha lencse lenne

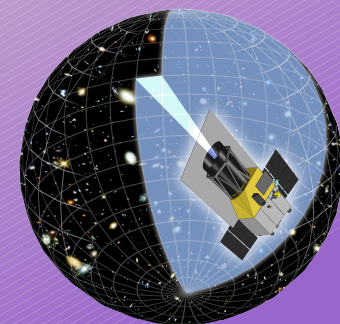


- Sok megfigyelési adat kell:
 - LSST: Nagy Szinoptikus Felmérő Távcső

- Észak-Chile, 8,4m-es tükör, 3,5°-os látómező, 24,5^m határfényesség
- 3 naponként lefényképezné a teljes eget
- Terv: 2016



- Euclid:
 - ESA-űrtávcső a Nap-Föld L_2 -pontjába
 - Cél: $z < 2$ galaxisok foto- és spektrometriája optikai és közeli IR tartományban \rightarrow távolságmeghatározás \rightarrow sötét anyag és energia
 - Terv: 2017



Mit hihetünk el?

- Összefoglalva:
 - Sok mérési eredmény és még több új, bizonyításra váró elmélet →
 - Kozmológiai világképünk folyamatosan és gyors ütemben fejlődik –
 - Ezzel lépést kell tartanunk!
 - Kritikus szemlélet kell a fizikusnak: nem szabad igazán hinnie egyikben sem, mert azzal a kreatív felfedezés megszűnik
- Kozmológia:
 - Tudomány:
 - Csak a méréssel bizonyított elméleteket fogadja el
 - Képes a fejlődésre
 - Vallás:
 - Hisszük, hogy a világ megismerhető és megérthető
 - Még mindig nem tudjuk, hogy miért kezdődött: *mi volt az ősrobbanás pillanatában és előtte?*

Források

- Cserepes – Petrovay: Kozmikus fizika
- Regály – Németh: Fejezetek a kozmológiából
- Martin Rees: Kozmikus otthonunk
- wikipedia.org
- hirek.csillagaszat.hu
- Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae, S. PERLMUTTER et al. APJ 517:565–586, 1999
- The Influence of Evolving Dark Energy on Cosmology, Luke Barnes et al., Publ.Astron.Soc.Austral.22:315,2005
- John D. Barrow: What happened before the Big Bang?
(<http://plus.maths.org/latestnews/jan-apr09/bigbang/index.html>)

Köszönöm a figyelmet!

