

Kozmológia: ősrobbanás és teremtés

Horváth Dezső

horvath.dezso@wigner.mta.hu

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest
és MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen

Vázlat

- Táguló Világegyetem.
- Ősrobbanás, felfúvódás.
- Lemaître és Einstein.
- Kozmikus háttérsugárzás.
- Hubble-teleszkóp és korai galaxisok.
- Evolúció, ősrobbanás és vallás.
- Fizika és filozófia.

Előszó

A fizika egzakt tudomány (*képletgyűjtemény!*)

- A fizika univerzális nyelve a matematika, pontos matematikai formalizmuson alapszik.
- Egy elmélet érvényes, ha kiszámítható mennyiségeket ad, és a számítások eredménye egyezik a kísérleti tapasztalattal.
- Az igazi fogalmak mérhető mennyiségek, a szavak csak mankók.

Szavak mögött pontos matematika és kísérleti tapasztalat

Alapkérdés: milyen pontossággal adja vissza az elméleti számítás a mérések eredményét?

Számítás nélkül nincs fizika, csak spekuláció....
és a fizika kísérleti tudomány!

Mi a kozmológia?

A Világegyetem egészével foglalkozik.

- Hogyan jött létre?
- Statikus vagy táguló?
- Lapos, nyitott vagy zárt?
- Anyaga, összetétele?
- Múltja, jövője?

Rejtély: Miért van éjjel sötét?

(Heinrich Wilhelm Matthias) Olbers paradoxonja, 1823

(Előtte Thomas Digges, 1576, Johannes Kepler, 1610; Edmond Halley, 1721 és Jean-Philippe de Chéseaux, 1744)

Végtelen kiterjedésű és örökké létező Világegyetem
végtelen sok csillaggal



egyenletesen fényes égbolt éjjel-nappal, mert minden
pontban csillagra nézünk

(fényesség $\sim 1/r^2$, sűrűség $\sim r^2$, por melegedne)

Demo: Az Olbers-paradoxon

Sötét éjszaka \Rightarrow véges méretű és/vagy korú Világegyetem.

A Világegyetem véges!

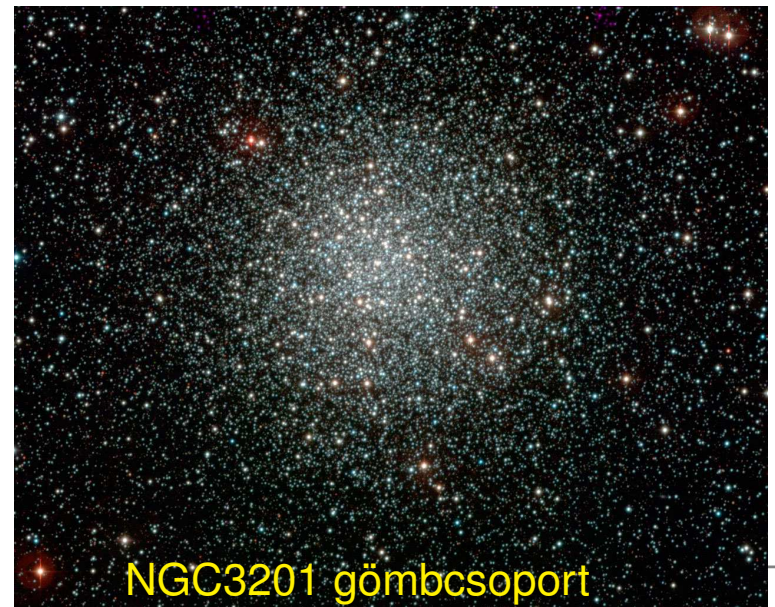
A Világegyetem szerkezete

Nagy skálán
homogén és izotróp

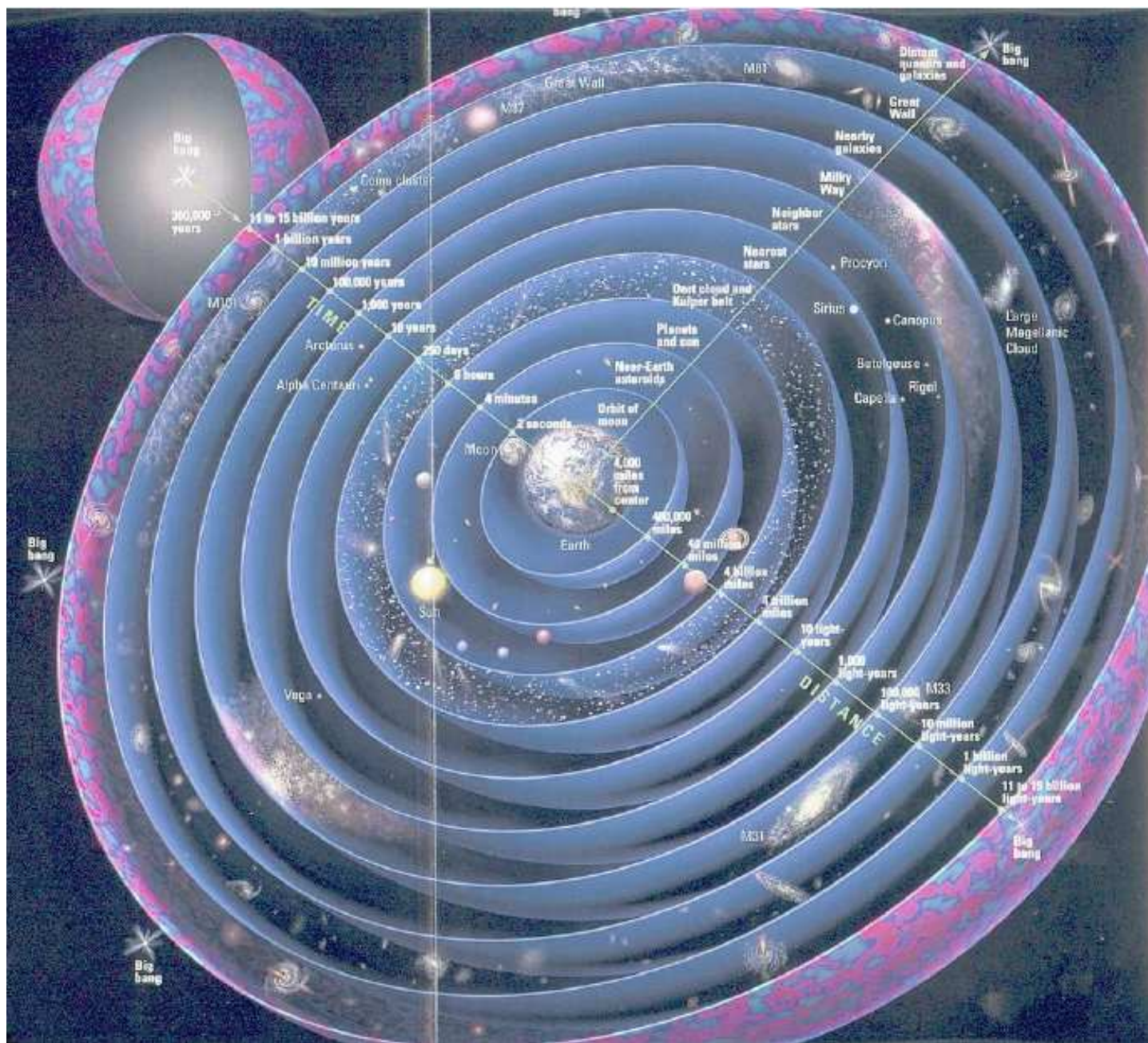
Kis (?) skálán látunk:
 $\sim 10^{11}$ galaxist
és galaxisonként $\sim 10^{11}$ csillagot

A Vela galaxis NGC3201
gömbcsoportja ~ 10000
csillaggal

<http://www.eso.org/public/images/>



Messzebbre nézünk, korábbra látunk



Távolodó galaxisok

Doppler-hatás: $z = (\lambda_v - \lambda_0) / \lambda_0$

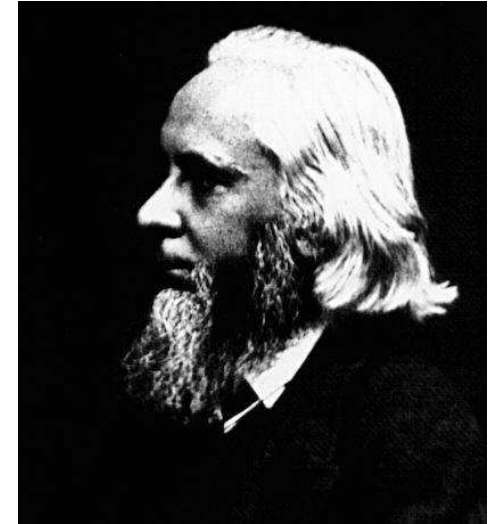
λ_v : hullámhossz v sebességnél

Közeledő motor hangja magasabb, távolodóé mélyebb

William Huggins, 1868:

csillagok szinképeiben $z > 0$: vöröseltolódás

Tőlünk távolodó objektum fényhullámhossza nő \Rightarrow
vörösebb



Henrietta Swan Leavitt, 1912:

Változócsillagok (cefeidák):

Kicsi \rightarrow duzzad, nagyra nőtt \rightarrow zsugorodik

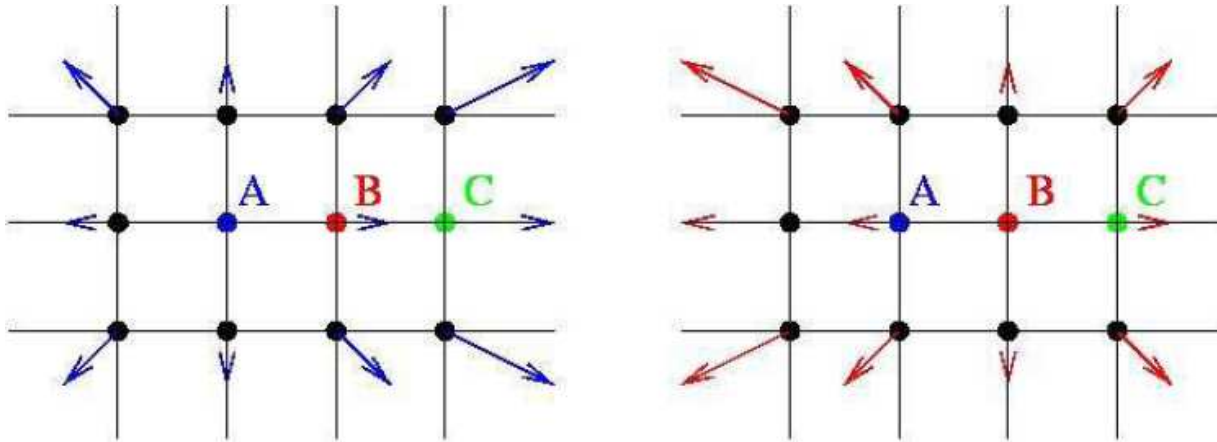
periódus \sim abszolút fényesség

(3 nap: $800 \cdot \text{Nap}$, 30 nap: $10000 \cdot \text{Nap}$)

észlelt fényesség \Rightarrow távolság!



Táguló világegyetem



Kozmológiai elv: Ha a tágulás lineáris

$$v(B/A) = v(C/B) \Rightarrow v(C/A) = 2v(B/A)$$

homogén világegyetem, nincs kitüntetett pont

Alexander Friedmann, 1922 és Georges Lemaître, 1927
matematikailag Einstein elméletéből

A világegyetem tágulása a téré, táguló koordináták
tömegek között vonzás, lokális stabilitás

Senki nem hitte el, legkevésbé Einstein



A. Friedmann
1888-1925



G. Lemaître
1894-1966

A Hubble-állandó



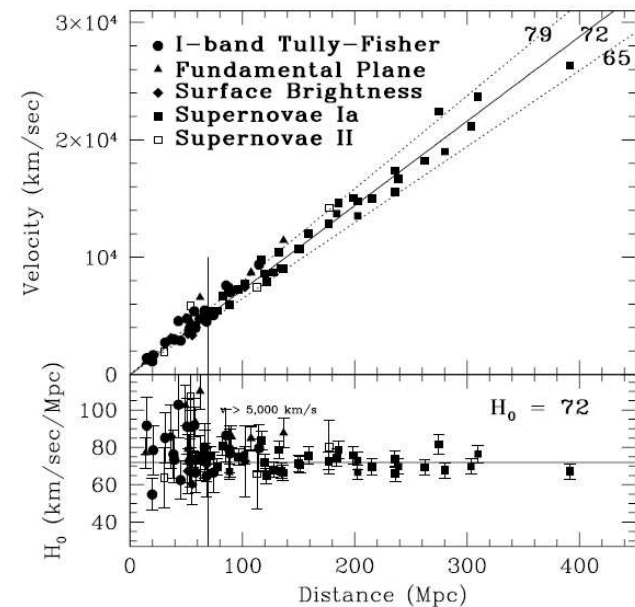
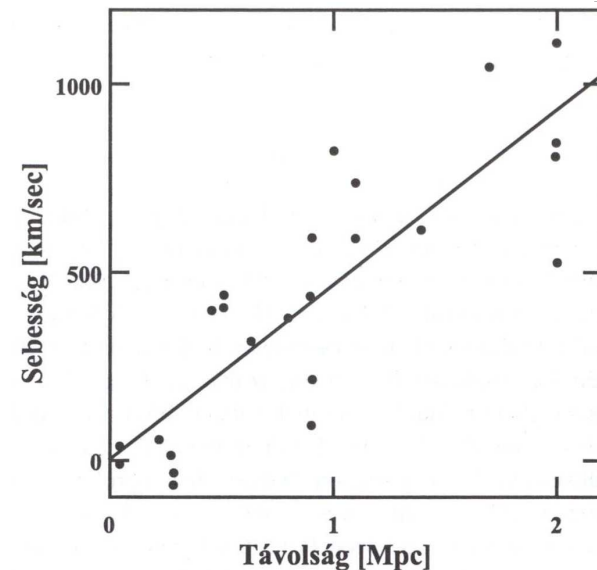
Edwin Hubble, 1929:
Galaxisok távolodnak *tőlünk*

$$\underline{v} = \underline{H} \underline{r} \text{ sebességgel}$$

$$H = 70 \text{ km/s/Mpc} \quad (1 \text{ Mpc} \approx 3 \times 10^6 \text{ fényév})$$

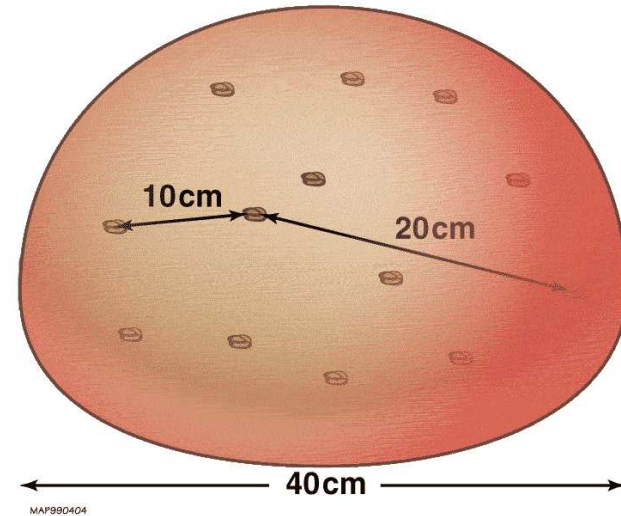
A Világegyetem kora:

$$t_0 = r/v = H^{-1} \sim 14 \times 10^9 \text{ év}$$



Táguló világegyetem

- **Ptolemaiosz:**
A Föld középpont
- **Kopernikusz:**
A Nap középpont
- **Kozmológiai elv:**
Nincs középpont



Demo: dagadó mazsolás kalács

A kelő tészta dagad, a mazsolák nem,
bár egyre messzebbre kerülnek egymástól.

Sötét anyag

Spirálgalaxisok
forgási
sebessége kifelé
nem csökken,

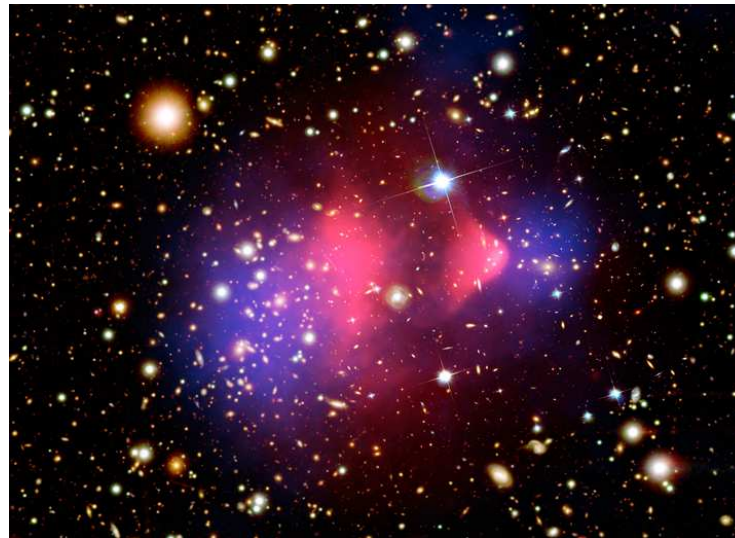
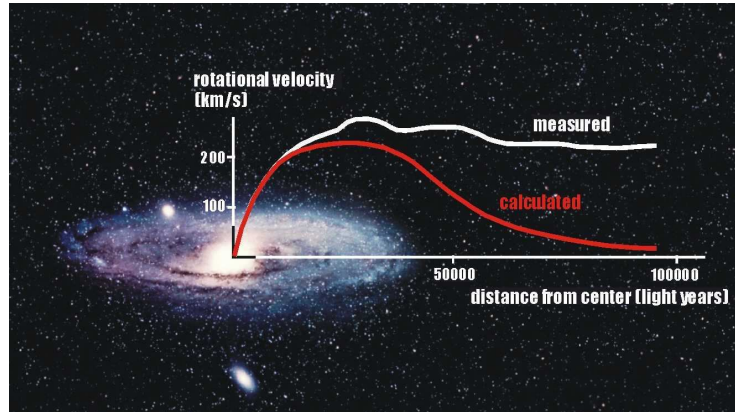
pedig Kepler II:

$$v = \frac{GM(r)}{r}$$

Sokkal több
gravitáló anyag,
mint látható
és nem kis
térfogatban

Sok bizonyíték

Micsoda?
WIMP...



Látható
tömegsűrűség \sim
luminozitás:

$$\rho_{\text{lum}}(r) \sim I(r)$$

DE:

$$\rho_M(r) \neq \rho_{\text{lum}}(r)!$$

Galaxisütközés:

normál anyag
sötét anyag

Az ősatom hipotézise

Monsignor Georges Henri Joseph
Edouard Lemaître (1894 – 1966)
Belga katolikus pap és fizikus
(Leuveni Katolikus Egyetem)



G. Lemaître:

A Világ kezdete a kvantumelmélet szempontjából,

Nature 127 (1931) 706.

A kozmikus tojás felrobbanása a Teremtés pillanatában
(Tegnap nélküli nap)

Fred Hoyle (BBC, 1949), a stabil Univerzum híve,
szarkasztikusan: a *Big Bang (Nagy Bumm)* elmélete

Lemaître és Einstein

Einstein 1927-ben, Lemaître levezetésére,
hogy az általános relativitáselmélet táguló

Világegyetemet ad:

*Az Ön matematikája precíz, de a fizikája
förtelmes*

Einstein, 1933-ban, miután Lemaître előadta
Ősatom-elméletét (habár nem hitte el):

*Ez a legszebb és legkielégítőbb
teremtés-magyarázat, amelyet valaha
hallottam*



Lemaître és Einstein, 1933

Fokozatosan gyűlő elméleti és kísérleti tapasztalat 30 évig

Végső bizonyíték: Kozmikus háttérsugárzás, 1964

Kozmikus háttérsugárzás

Arno Penzias és Robert Wilson, 1964
(Nobel-díj, 1978)

Kiszűrhetetlen mikrohullámú zaj

Modell: $T=3$ K kozmikus sugárzás (CMB)

COBE: COsmic Background Explorer, 1989-93

$T = 2,728$ K, pontos hőmérsékleti görbén
eredetileg 3000 K-es fotonok lehülése
(1000-szeres!) táguláskor

Helyi irány-anizotrópia:

magok galaxisok kialakulásához

(Felfúvódás előtti sűrűségfluktuációk?)

Megerősítés, sokkal pontosabban:

WMAP: Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

John C. Mather és George F. Smoot (COBE):

Nobel-díj, 2006



A. Penzias & R. Wilson, 1964, Bell laboratories (1964)



A COBE űrszonda

BICEP2, 2014 március 17.

Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization

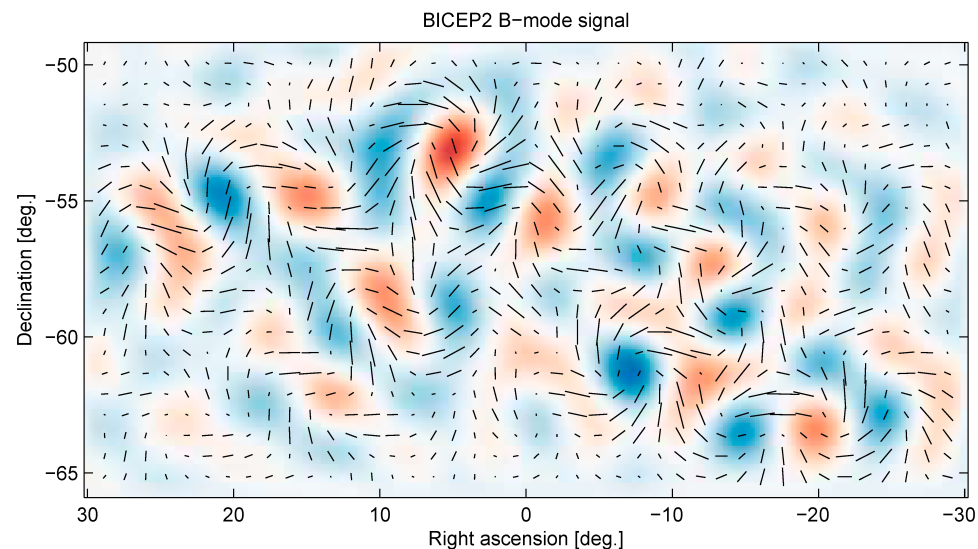
Kozmikus háttérsugárzás hőmérséklete:
kezdeti sűrűség-ingadozás
COBE \Rightarrow WMAP \Rightarrow Planck

polarizációja:

kezdeti gravitációs hullámok

Polarizáció eloszlása égbolt egy
darabján:

óramutatóval, ellentétesen tekerő



Ősrobbanás (Big Bang)

Látható anyag: $\sim 75\%$ hidrogén, $\sim 25\%$ He, $< 1\%$ más
 $H+H \rightarrow He$ csak csillagokban: forró korai Univerzum kiadja

Felfúvódás (Alan Guth, 1980, *inflation*): Óriási sötét energia, fénynél gyorsabb kezdeti tágulás (10^{-32} s alatt 10^{26} -szoros)

Bizonyíték (?): BICEP2 (Déli sarkon), 2014 március

Kozmikus háttérsugárzás eredete:

Big Bang után 30 perc: plazma, $T = 300\,000\,000$ K.

Sugárzás dominál, fotonok halmaza átlátszatlan közegben

380000 év: lehülés 3000 K-re, semleges atomok, fotonoknak átlátszó

Tágulás 1000x: fotonok hullámhossza nő, $T = 3000 \rightarrow 3$ K

Galaxisok eredete:

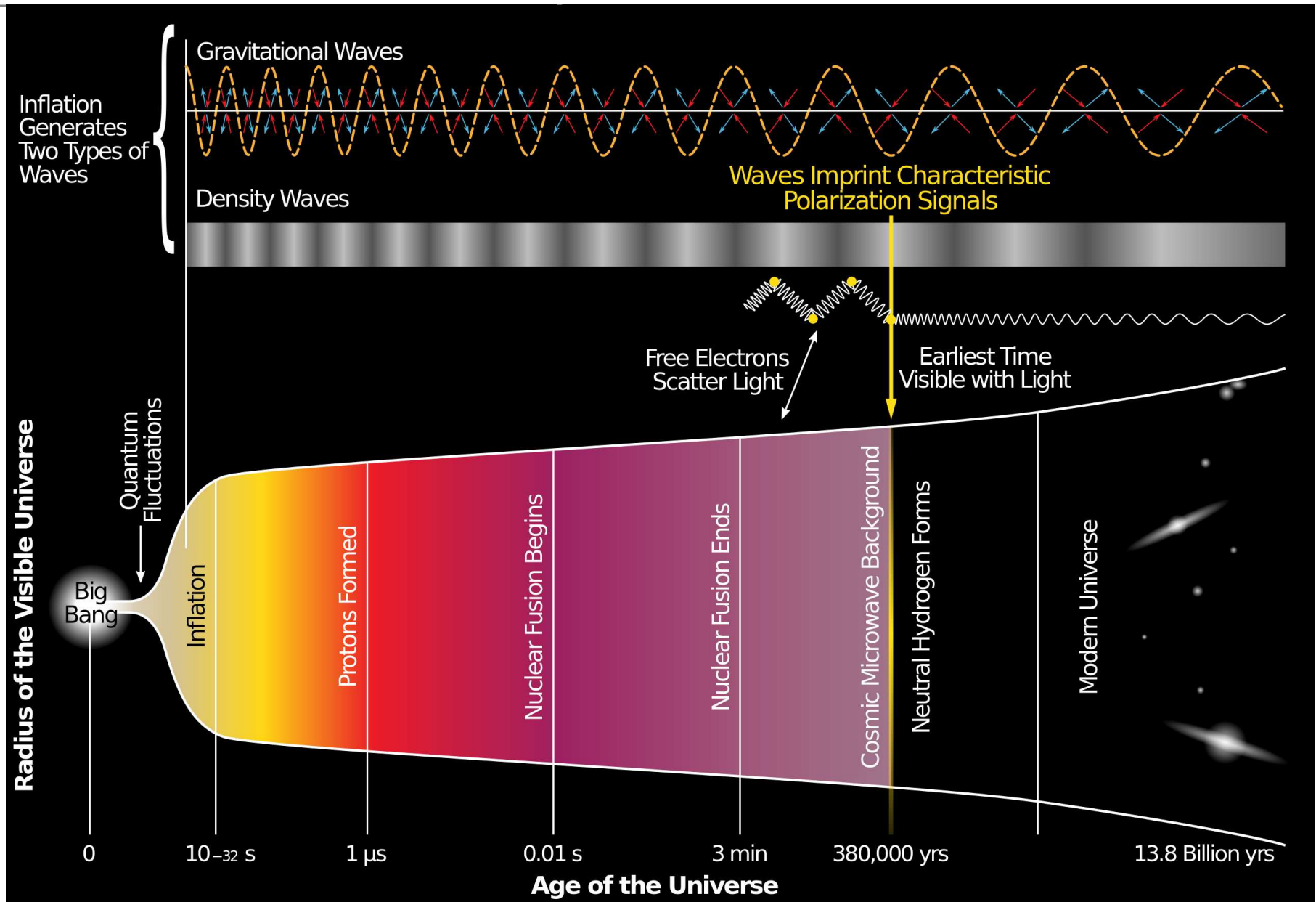
Kvantumfluktuációk \Rightarrow gyors táguláskor térbeli anizotrópia

\Rightarrow sötét anyag gravitációs gödreiben barionos anyag sűrűsödése \Rightarrow

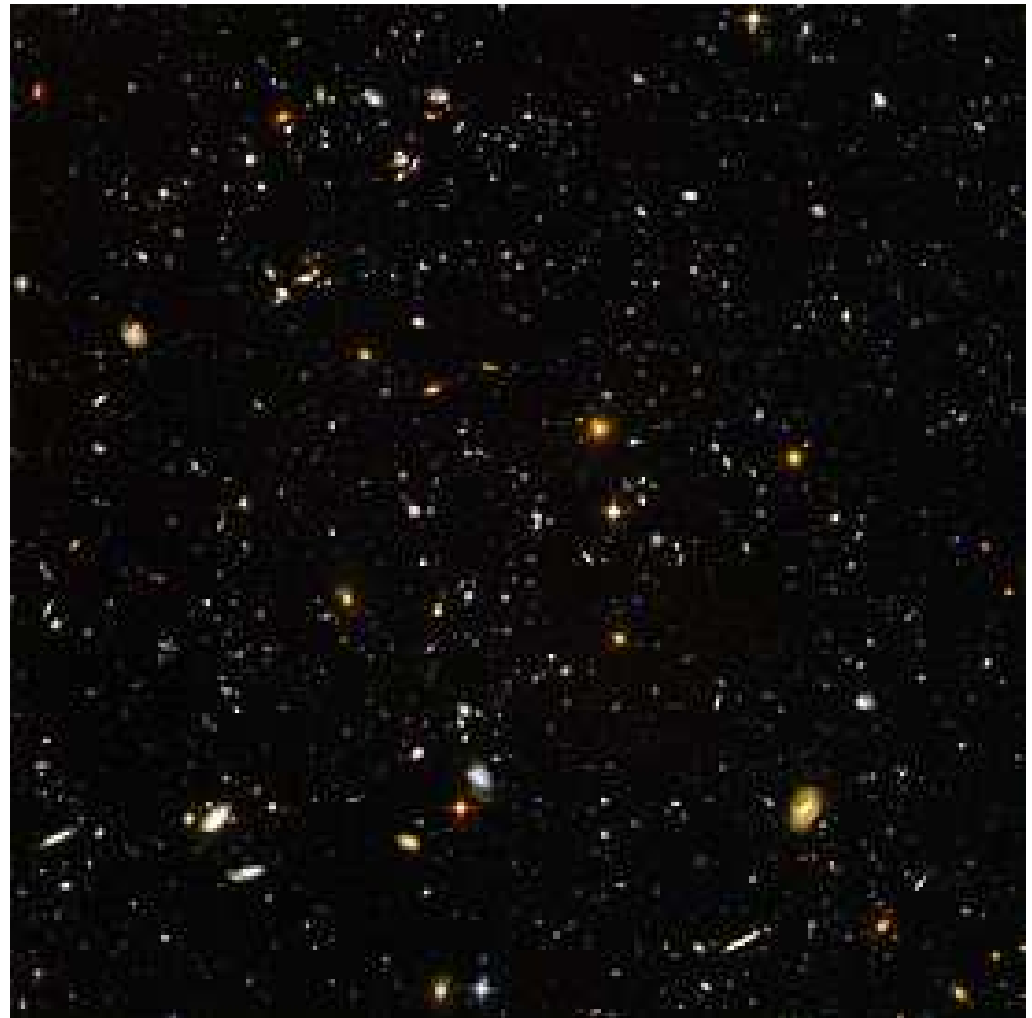
csillagok, galaxisok kialakulása

Bizonyíték: Kozmikus háttérsugárzás anizotrópiája

Ősrobbanás, felfúvódás, sugárzás



Hubble-teleszkóp: a Világegyetem mélye



250 nap megfigyelés egy *sötét* ponton \Rightarrow
> 10000 tízmilliárd évnél *régebbi* galaxis

Hubble-teleszkóp: eredmények

- A galaxisok kialakulása már az Ősrobbanás után 500-800 millió évvel megkezdődött
- Korai galaxisok kisebbek és kevésbé szimmetrikusak \Rightarrow gyorsabb formálódás
- A galaxisok centrumában általában fekete lyuk van
- A legtávolabbi felvételeken nyomon követhető csillagok képződése



Az ultramély felvétel kis része kinagyítva 10^{10} évvel fiatalabb galaxisok

Sötét energia??

Távoli szupernovák vizsgálatából:
gyorsulva táguló Világegyetem!

Valami „kifelé szívja”?



Saul Perlmutter



Brian Schmidt



Adam Riess

Felfedezés: 1998, Nobel-díj: 2011

Sötét energia

Vákuum gravitáló energiája, összes tömeg 70%-a!

Ősrobbanás után nagy, korai univerzumban sokkal kisebb, térrel nő

Ma dominál és nem tudjuk, igazából micsoda

Nem vákuum-energia: 10^{-120} -szor kisebb
(Elmélet és kísérlet eltérésére világrekord :-)

Nem is energia, egyszerű állandó egy egyenletben!

Kozmológiai állandó: $\Lambda > 0$

Einstein *legnagyobb tévedése*, eredetileg beírta az egyenletébe, hogy stabilizálja a Világegyetemet, aztán a tágulás hatására kihúzta.

Mégis létezik, és gyorsítva tágít.

Rengeteg modell, spekuláció, mi lehet mögötte:
inflaton, kvintesszencia...

Mitől jöttek létre a galaxisok?

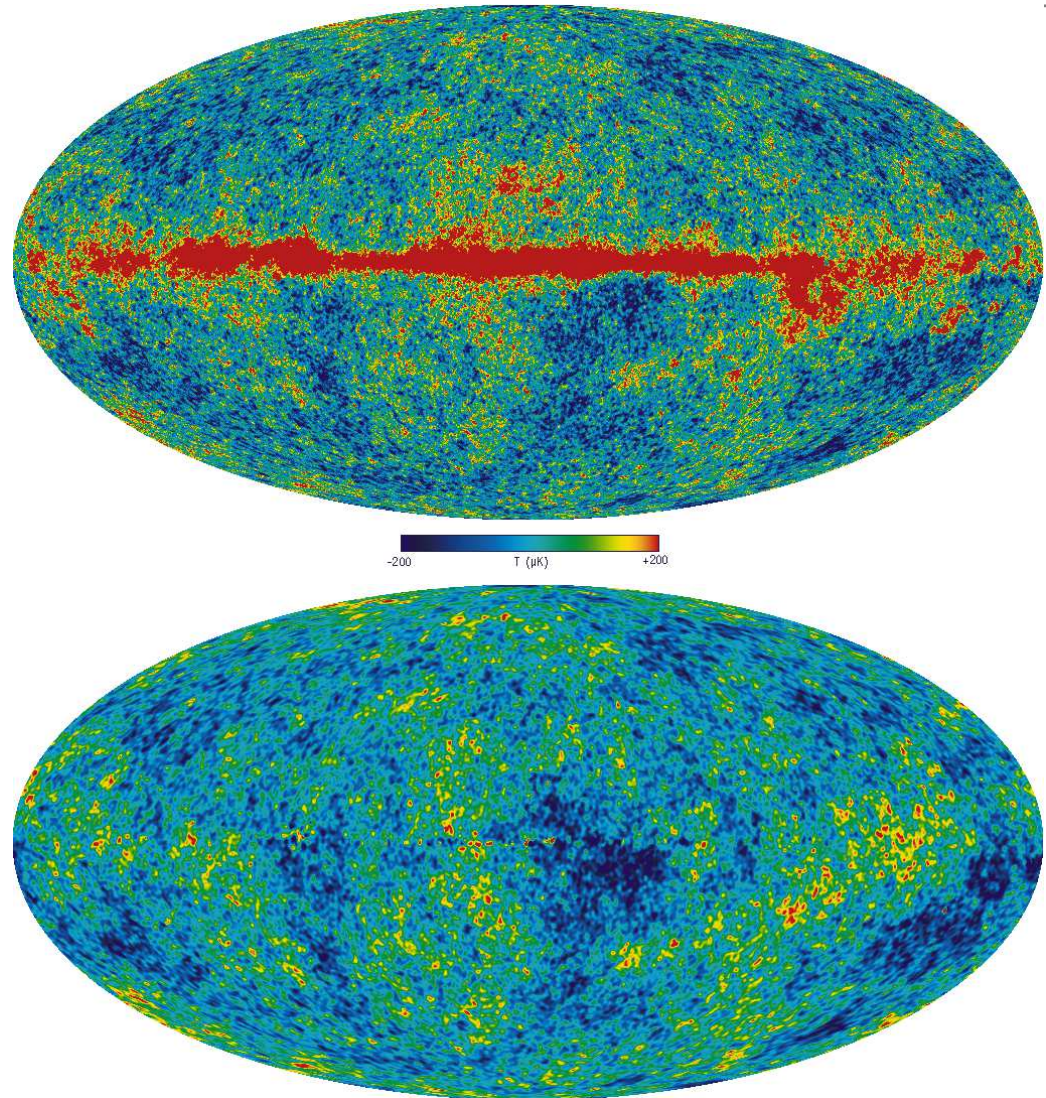
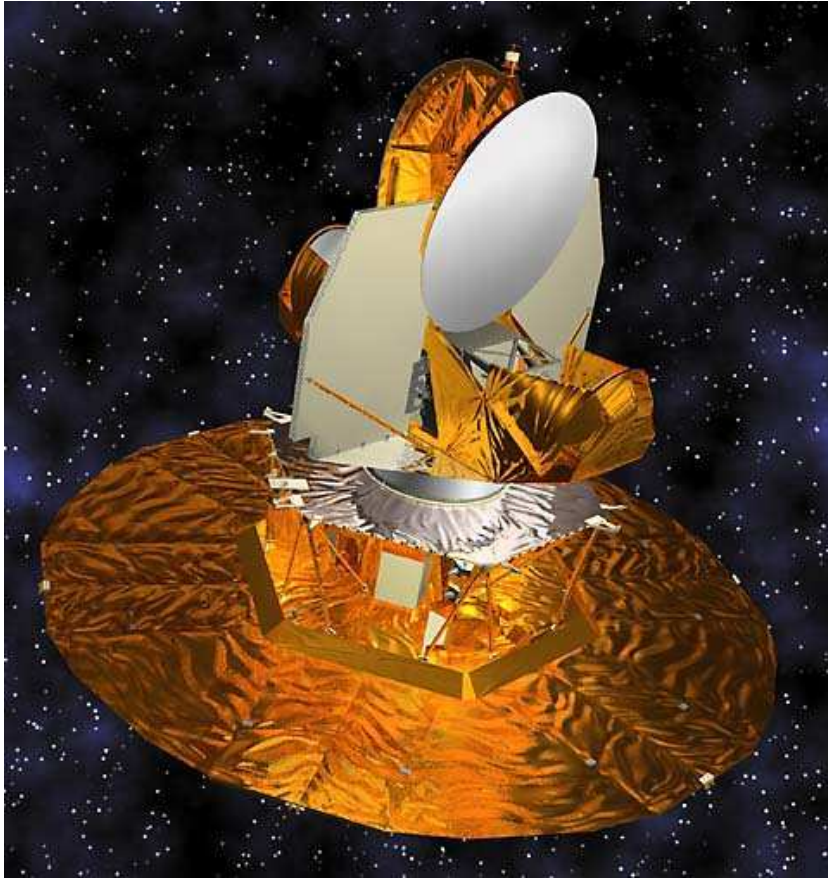
Sötét anyag gravitációs gödrei!

Bizonyíték: kozmikus háttérsugárzás anizotrópiája:

bizonyos irányokból sokkal erősebb

Ott már a csillagok kialakulása előtt
sokkal sűrűbb volt az anyag

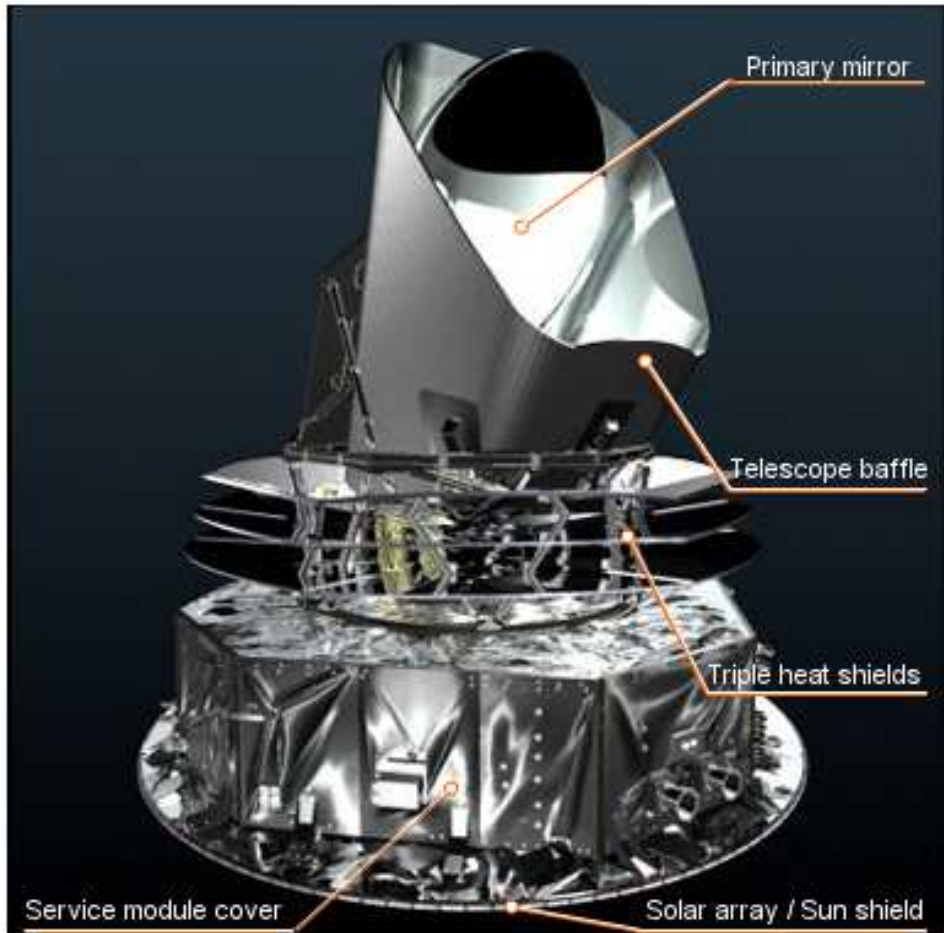
A háttérsugárzás anizotrópiája



Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, 2001-2010
COBE \Rightarrow WMAP \Rightarrow Planck

A Planck-űrszonda, ESA, 2009–2012

(a kozmikus háttérsugárzás vizsgálatára)



A Planck-űrszonda:
4,2 m; 2,4 t; 1,5 millió km



Herschel-űrteleszkóp:
Csillagképződés az Orion-ködben

Anyagegyensúly ma

WMAP, 2010; PLANCK, 2013

Friedmann-egyenlet: $\Omega_R + \Omega_M - \Omega_k + \Omega_\Lambda = 1$

Sugárzás + anyag - görbület + kozm-para = 1

Univerzum lapos, ha $\Omega_k \approx 0$; $\Omega_0 = \Omega_R + \Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$

Sugárzás kicsi, $\Omega_R \sim 0$

Most lapos, anyag-dominálta ($\Omega_M \gg \Omega_R$) világegyetem

$$\Omega_M = \Omega_B + \Omega_{\text{CDM}}$$

Barionos anyag (csillag, fekete lyuk, por, gáz): $\Omega_B \sim 4.9\%$

Csomósodó, nem-barionos, hideg sötét anyag:

$$\Omega_{\text{CDM}} \sim 26.8\%$$

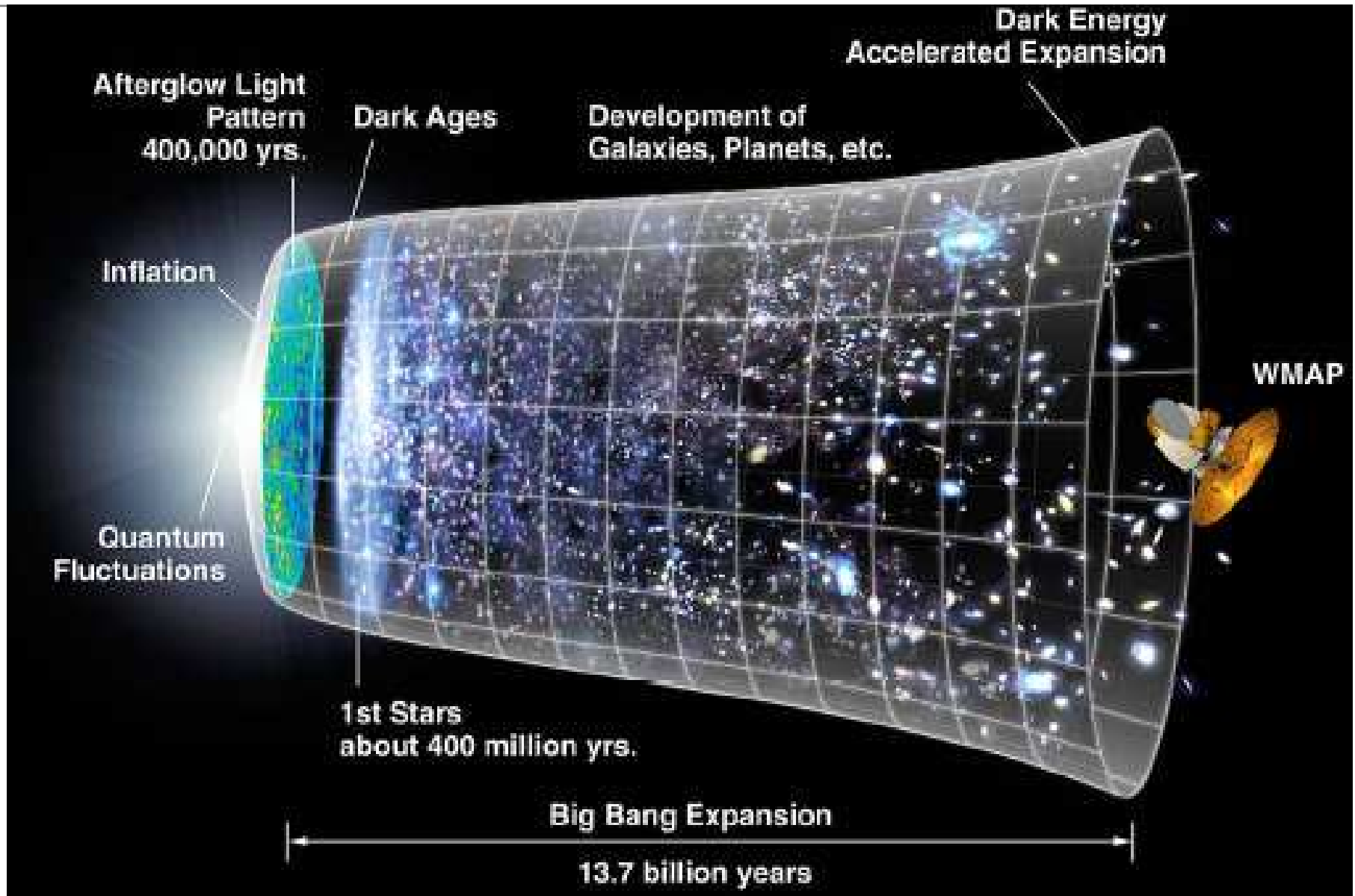
Gyorsuló tágulás: sötét energia $\Omega_\Lambda \sim 68.3\%$

A Világegyetem kora: 13.798 ± 0.037 milliárd év

Az elemek keletkezése

- Ősrobbanás után 3 perc: $T < 10^9$ K \Rightarrow egy nagy csillag, H \rightarrow He fúzió (75% H₂ + 25% He)
- Sokkal később csillagok, belül forró fúzió, nehezebb elemek (szén felett).
- Szupernova robbanása \Rightarrow nehéz atomok szétszóródnak.
- Li, Be, B: csillagban szétesik, csillagközi térben keletkezik.
- Nehéz elemek mennyisége lassan növekszik.

A történet eddig



Evolúció és vallás

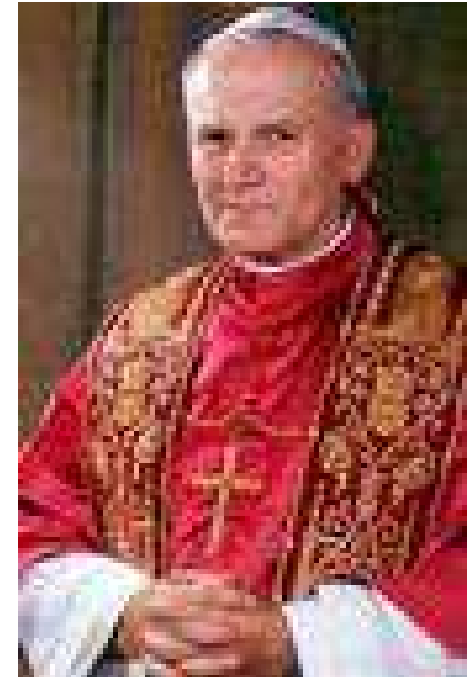
Ősrobbanás értelmezéséhez az evolúció a fő kérdés
Elfogadják-e a különböző vallási irányzatok?
A webes vitafórumokból lehet megítélni.

- Római katolikus: igen
- Görög-keleti ortodox: igen
- Református: **nem**
- Evangélikus: igen
- Judaizmus: igen
- Iszlám: igen
- Hinduizmus: igen
- Sinto: igen

II. János Pál az evolúcióról

II. János Pál, Pontifical Academy of Sciences,
1996:

Mára ... új tudásunk elfogadja, hogy az evolúció elmélete több, mint hipotézis. Valóban figyelemre méltó, ahogy a kutatók a tudomány különböző területein tett felfedezések hatására, fokozatosan elfogadták ezt az elméletet. A függetlenül végzett munka eredményeinek sem nem keresett, sem nem fabrikált konvergenciája önmagában is jelentős bizonyítéka az elméletnek.



http://www.newadvent.org/library/docs_jp02tc.htm

Protestantizmus: reformátusok

Az amerikai református források általában elvetik az evolúciót és az Ősrobbanást, szó szerint értelmezve a Bibliát. Nem hierarchikus felépítésű, nem találtam hivatalosnak tekinthető álláspontot, de a cikkek nem támogatták.

The Christian Reformed Church Still Won't Stand Up For Science

(The Aquila Report, 2014)

A Szentírás elleni első támadás a Nagy Bumm elméletében gyökerezik. Ez a hamis tanítás azt állítja...

(Beacon Lights, Vol. LIX, No. 7; July 2000)

... azt állítja, hogy a Világ egy „Nagy Bumm”-mal kezdődött, és hogy az ember a majomtól származik. Nagy butaság ilyen esztelen dolgokat állítani ...

(Protestant Reformed Theological Journal, April 1997, p. 35)

Ortodox kereszténység

CREATION: *Orthodox Christians refuse to build an unnecessary and artificial wall between science and the Christian Faith. Rather, they understand honest scientific investigation as a potential encouragement to faith, for all truth is from God.*

Antiochian Orthodox Archdiocese of North America

<http://www.antiochian.org/1123706696>

QUESTION: *Can we Orthodox accept the "Big Bang" theory?*

ANSWERS: *Yes, you can. The viewpoint here is that there are no theological objections to the "Big Bang" theory" which is... a theory...*

Actually the Big Bang theory doesn't say anything about where everything came from. It ... describes what happened in the first moments of the existence of the universe, but it is agnostic as to the origin of the universe itself. So there's no inherent contradiction between a creation from nothing and the big bang theory.

Orthodox Answers, 2012

<http://www.orthodoxanswers.org/answer/1187/>

Judaizmus és modern tudomány

<http://www.faqs.org/faqs/judaism/FAQ/06-Jewish-Thought/section-4>

Judaizmusban régi hagyomány nem szó szerint értelmezni a Genezist

Maimonides: *A Genezis kezdetének szó szerinti értelmezése a tömegeknek való*



Mose ben Maimon

1138 – 1204

Szent Ágoston, Hippo püspöke, 354-430

Szent Ágoston vallomásai, 397

(Dr. Vass József fordítása)

<http://vmek.niif.hu/04100/04187/04187.htm>

Önéletrajz és vita Istennel a Szentírásról

Könyvekre és fejezetekre tagolódik

A fordítók fejezetcímekkel látták el,
pedig a latin eredetiben nem láttam. A
fejezet lehet egy mondat vagy több
oldal.



Szent Ágoston, 354 – 430

(Philippe de Champaigne, XVII. sz.)

Világképe igen közeli a modern kozmológiához

Szent Ágoston vallomásai, XI. könyv

A teremtés

- V. fejezet: *Isten a világot semmiből teremtette*
- VI. fejezet: *A teremtő ige nem lehetett valami időben elhangzó parancs. Akárminek képzelem ugyanis azt a teremtést megelőző valamit, ami hordozója lett volna parancsodnak, biztosan nem volt, hacsak azt is meg nem teremtéd vala.*
- X. fejezet: *Működött-e Isten a világ teremtése előtt?*
Ez vissza-visszatérő kérdése. A válasz:
- XI. fejezet: *Isten örökkévalóságához nincs köze időnek.*
- XII. fejezet: *A teremtés előtt Isten kifelé, vagyis teremtő módon semmit nem cselekedett.*

Szent Ágoston vallomásai, XI. könyv

Teremtés és Idő

- XIII. fejezet: *A teremtés előtt nem volt idő, mert ez maga a teremtmény.*
- XXX. fejezet: *... mit művelt Isten a világ teremtése előtt? - Vagy: hogyan jutott eszébe teremteni valamit, mikor azelőtt soha semmit sem teremtett? ... nem lehet ott sohasem-ről beszélni, ahol egyáltalán nincsen idő. ... teremtmény híján idő sincs*

Szent Ágoston vallomásai, XI. könyv

Vissza a teremtéshez

- VII. fejezet: *Semmiből lett az ősanyag, az ősanyagból az egész világ.*
- IX. fejezet: *Sem a mennyország, sem az ősanyag megteremtése nem időben történt.*
- XIII. fejezet: *Kezdetben teremté Isten a mennyországot és az ősanyagot*
- XXIV. fejezet: *Úgy vélekedik, hogy e szó "kezdetben" az Igét jelenti, de vallja, hogy más magyarázat is lehetséges.*

Ősrobbanás és teremtés: XII. Pius pápa

XII. Pius 1951-ben (jóval az előtt, hogy a fizika elfogadta volna!) üdvözölte az Ősrobbanást, mint a Világ teremtését.

Isten létezésének bizonyítékai a modern természettudomány fényében

XII. Pius pápa beszéde a Vatikáni Tudományos Akadémia 1951 november 22-i ülésén

<http://www.papalencyclicals.net/Pius12/P12EXIST.HTM>

Az ősrobbanás kozmológiai elvére hivatkozik, és kimondja:

51. Így tehát a Teremtés megtörtént. Tehát van Teremtő. Tehát Isten létezik! Habár nem nyíltan kimondott és nem teljes, ez az a válasz, amelyet a tudománytól vártunk, és amelyet az emberiség jelenleg vár tőle.

Edwin Hubble és XII. Pius pápa, 1951

Edwin Hubble levelet kapott egy barátjától, aki megkérdezte, a pápa bejelentése kvalifikálja-e szentté avatásra:

Amíg a reggeli újságban nem olvastam róla, nem gondoltam volna, hogy a pápának rád van szüksége Isten létének bizonyításához.



Edwin Hubble

1889 – 1953

Georges Lemaître meggyőzte a Vatikán tudósait, hogy nem szabad túlságosan építeni erre a nem bizonyított elméletre, és a pápa többet nem hivatkozott rá.

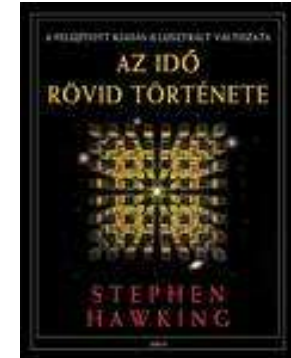
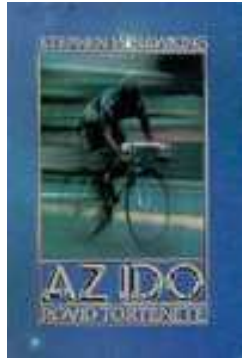
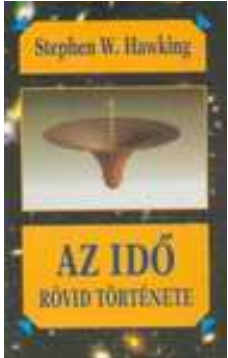
Ősrobbanás és II. János Pál

II. János Pál, Pontifical Academy of Sciences, 1996:
lényegében megismétli XII. Pius 1951-es következtetését:

... úgy tűnik, hogy a modern tudománynak ... sikerült megtalálnia az elsődleges fiat lux [legyen világosság] pillanatát, amikor a semmiből az anyag mellett fény és sugárzás tengere tört elő, az elemek meghasadtak és kavarogtak és galaxisok millióivá váltak. ... Így tehát a fizikai bizonyításra jellemző konkrétsággal [a tudomány] megerősítette a Világegyetem esetlegességét és annak a kornak a megalapozott levezetését, amikor a Világ előjött a Teremtő kezéből. Így megtörtént a teremtés. Kijelentjük: tehát létezik Teremtő. Tehát Isten létezik!

II. János Pál és Stephen Hawking

Stephen W. Hawking, miután beszélt II. János Pállal, aki azt tanácsolta, ne fessegessék az Ősrobbanás pillanatát, mert az Isteni beavatkozás volt:



Örültem, hogy nem ismerte a konferencián éppen elhangzott előadásom témáját — a lehetőségét annak, hogy a tér-idő ugyan véges, de nincs határa, kezdete sem, tehát a Teremtésnek sincs időpontja.

Szerintem a kettő nincs ellentmondásban...

Teológia és fizika

A vallások nagyrészt elfogadják az ősrobbanást teremtésnek

Ez ki is következethető a táguló Világegyetemből: valamikor mindennek egészen közel kellett lennie egymáshoz.

A modern fizika tér- és időfogalma is logikailag levezethető

Spinoza, Kant, Hegel, Engels: értékes tudományos következtetések

A fizika kísérleti tudomány, másképpen kérdez és kutat, mint a filozófia vagy a teológia.

Kérdése: **hogyan működik a Világunk**

Módszere: Elmélet, számítások, kísérleti ellenőrzés megfigyeléssel

Lemaître számítása pontos volt, mégsem fogadták el (ő maga sem), amíg megfigyelések nem erősítették meg.

Fizika és teológia

Ősrobbanás: modell, amelyet eddig minden megfigyelés alátámaszt

De a megfigyelések csak az első 0,01 mp-től érvényesek, azelőttre csak elméleti becslések és spekulációk.

CERN Nagy hadron-ütköztetője: Ősrobbanás utáni milliomod mp megközelítése anyagállapotban.

Talán a sötét anyagot is megtaláljuk.

Olvasnivaló

- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Ősrobbanás>
- Leon Lederman és Dick Teresi: *Az Isteni A-tom avagy Mi a kérdés, ha a válasz a Világegyetem?*
- Stephen Hawking: *Az idő rövid története*
- Frei Zsolt és Patkós András: *Inflációs kozmológia*
- Jáki Szaniszló: *Isten és a kozmológusok*
- Fizikai Szemle, 2010 augusztus

Köszönöm a figyelmet

Tartalékdiák

Ősrobbanás (Big Bang) időrendje

Esemény	idő	hőmérséklet	$\rho^{1/4}$
Planck-idő (infláció ↓?)	10^{-36} s		10^{18} GeV
Nagy egyesítés	10^{-32} s		10^{16} GeV
Elektrogyenge ↑? (bariogenezis)	10^{-6} s	10^{15} K	100 GeV
Kvark → hadron	10^{-4} s	10^{12} K	100 MeV
Nukleonok	1–1000 s	$10^9 - 10^{10}$ K	0,1 – 1 MeV
Lecsatolódás	380000 év	3000 K	0,1 eV
Szerkezet kialakulása	$> 10^5$ év		
Mai helyzet	13,75 G év	2,7 K	$3 \cdot 10^{-4}$ eV

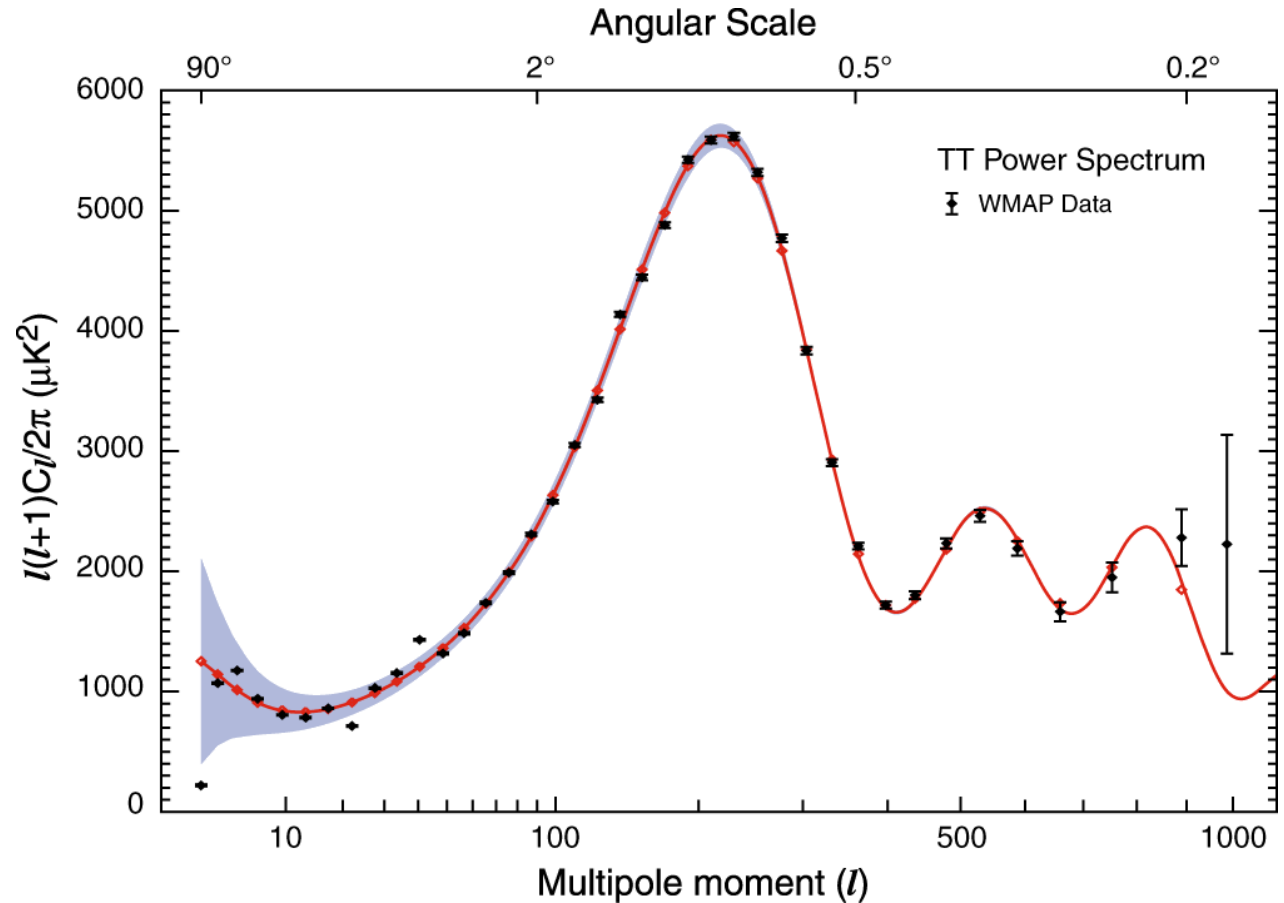
Jelenlegi kép: gyorsulva táguló Univerzum

A WMAP eredménye, 2001-2003

Akusztikus
spektrum: rezgési
módusok

Csúcsok helye:
sötét anyag nem
barionos

Lapos Univerzum,
 $\Lambda \neq 0$



Távolságskála görbült téridőben

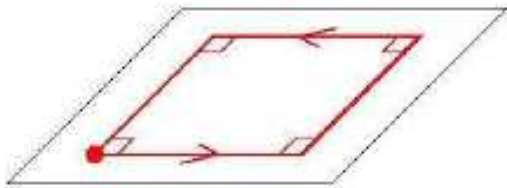
Együttmozgó koordináták: (t, r, Θ, Φ)

Euklideszi távolság: $d\ell^2 = dr^2 + r^2(d\Theta^2 + \sin^2 \Theta d\Phi^2)$

Görbült térben:

$$d\ell^2 = a^2(t) \left[\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2(d\Theta^2 + \sin^2 \Theta d\Phi^2) \right]$$

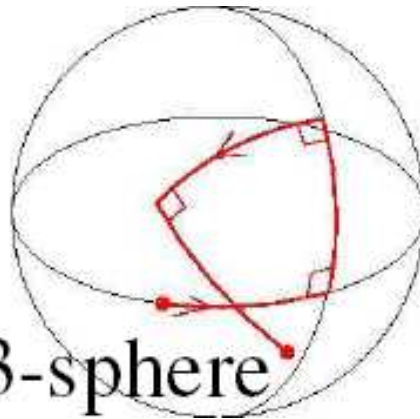
$a(t)$: 2D téridő-görbület k : 3D térgörbület



3-plane

$$k = 0$$

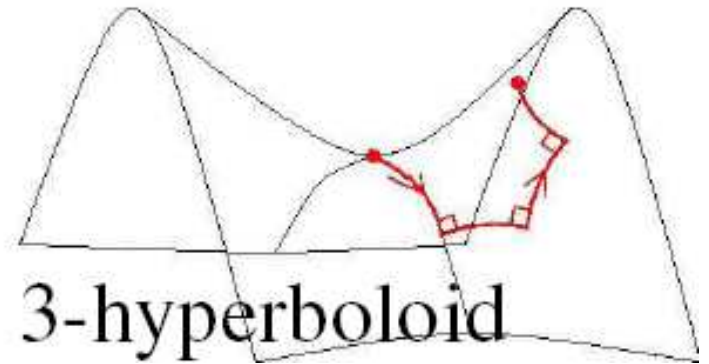
lapos univerzum



3-sphere

$$k > 0$$

zárt univerzum



3-hyperboloid

$$k < 0$$

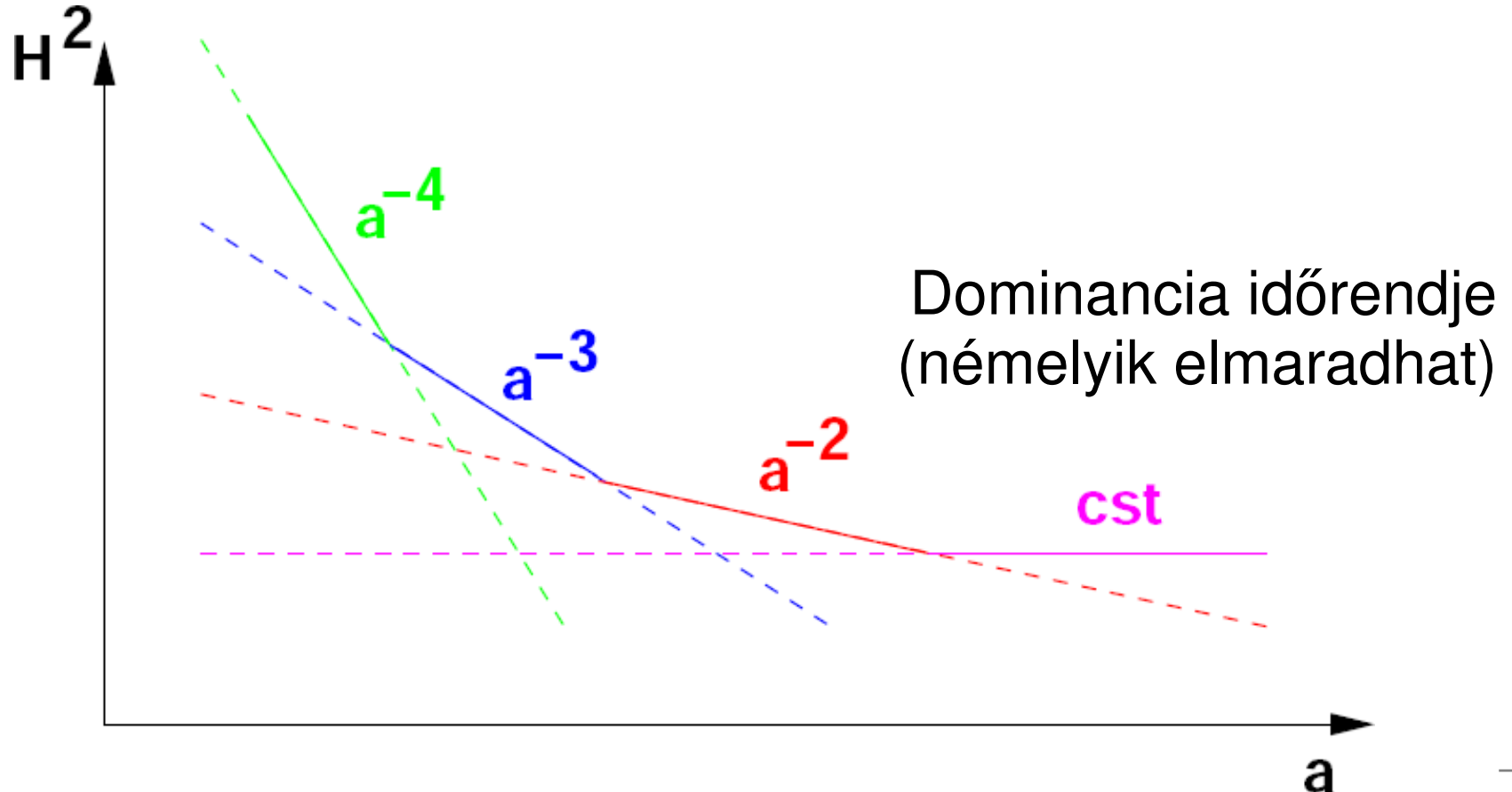
nyílt univerzum

Galaxisok távolsága $\sim a(t) \Rightarrow$ tágulás

A Friedmann-törvény

Skála-
tényező
változása:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 \equiv H^2 = \underbrace{\frac{8\pi\mathcal{G}}{3c^2}\rho_R}_{\sim a^{-4} \text{ Sugárzás}} + \underbrace{\frac{8\pi\mathcal{G}}{3c^2}\rho_M}_{\sim a^{-3} \text{ anyag}} - \underbrace{\frac{kc^2}{a^2}}_{\sim a^{-2} \text{ görbület}} + \underbrace{\frac{\Lambda}{3}}_{\sim a^0 \text{ vákuum}}$$



Anyagegyensúly ma

Friedmann-egyenletből (X_0 : mai érték, $/H_0^2$)

$$\frac{8\pi G}{3H_0^2 c^2} (\rho_{R0} + \rho_{M0}) - \frac{kc^2}{a_0^2 H_0^2} + \frac{\Lambda}{3H_0^2} \equiv \\ \Omega_R + \Omega_M - \Omega_k + \Omega_\Lambda = 1$$

Univerzum lapos, ha $\Omega_0 = \Omega_R + \Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$

Jelenleg: lapos, anyag-dominálta ($\Omega_M \gg \Omega_R$)

Kozmológiai paraméterek: $\Omega_R, \Omega_M = \Omega_B + \Omega_{\text{CDM}}, \Omega_\Lambda, H_0$

Barionos anyag (csillagok, fekete lyukak, por, gáz):

$$\Omega_B \sim 4\%$$

Csomósodó, nem-barionos, hideg sötét anyag:

$$\Omega_{\text{CDM}} \sim 26\%$$

Gyorsuló tágulás: sötét energia $\Omega_\Lambda \sim 70\%$

Forrás

- **Stephen Hawking: Az idő rövid története**
Talentum Kiadó, Budapest, 1998
- <http://hu.wikipedia.org/wiki/Ősrobbanás>
- **Szent Ágoston vallomásai**
(Dr. Vass József fordítása)
<http://mek.oszk.hu/04100/04187/04187.htm>