

Bevezetés a kozmológiába 2: Ősrobbanás és vidéke

HTP-2014, CERN, 2014 augusztus 20.

Horváth Dezső

horvath.dezso@wigner.mta.hu

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

Vázlat

- Ősrobbanás, felfúvódás.
- Kozmikus háttérsugárzás.
- COBE, WMAP, PLANCK: anizotrópia.
- Sötét anyag és energia.
- Ősrobbanás és vallás.

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 (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)

Különlegesen érzékeny mikrohullámú
antennában **kiszűrhetetlen zaj**

Öncélú pontosság??

Mindig érdemes növelni a mérés
pontosságát!

Hőmérsékleti jellegű eloszlás

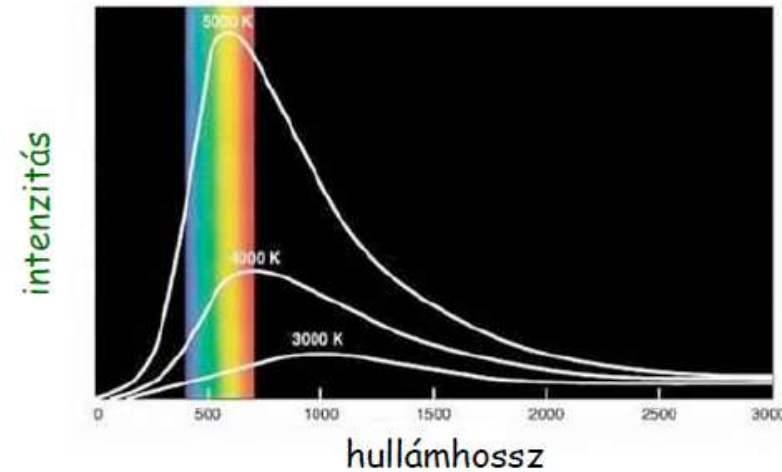
Modell: $T=3$ K kozmikus sugárzás

Cosmic Microwave Background (CMB)

Maradék sugárzás

Légkör elnyel $\lambda = 10$ cm alatt

Irány az Űr!



A COBE kísérlet, 1992

COsmic Background Experiment

John C. Mather és George F. Smoot

Nobel-díj, 2006

$T = 2,728$ K, pontos hőmérsékleti
görbén

eredetileg 3000 K-es fotonok lehülése
(1000-szeres!) táguláskor

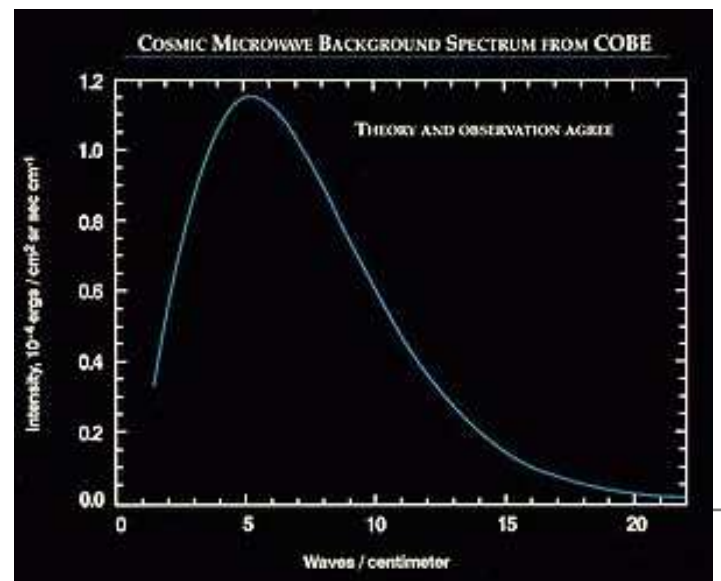
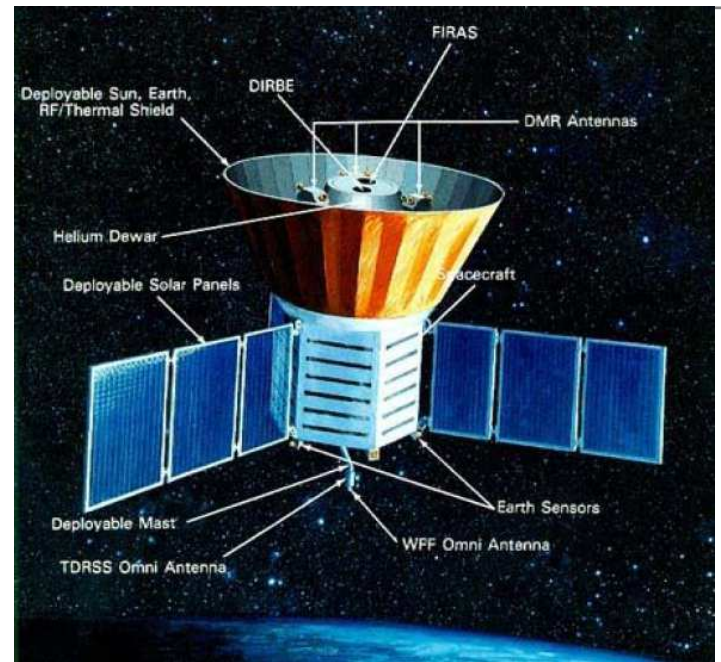
Helyi irány-anizotrópia:

magok galaxisok kialakulásához

(Felfúvódás előtti sűrűségfluktuációk?)

Megerősítés, sokkal pontosabban:

WMAP: Wilkinson Microwave
Anisotropy Probe



Felfúvódás (infláció)

Hipotézis: A Világegyetem (VE) gyors tágulása 10^{78} -szorosra 10^{-36} – 10^{-32} s között az Ősrobbanás után
Alan Guth, 1980 és K. Sato, 1981

Vákuum-energia, inflaton (nem a Higgs-tér) \Rightarrow
exponenciális tágulás

Később lelanyhul, síma tágulás, ma enyhén gyorsul
A VE nagy területei kiesnek az eseményhorizontunkból
(fényel nem érhetők el).

Megmagyarázhatja a következőket:

- Kezdeti anizotrópiák kisimítása \Rightarrow nagy skálán homogén és izotróp VE.
- Lapos (Euklideszi) VE, görbület nélkül.
- Galaxisok keletkezése helyi sűrűségfluktuációkból
- Anyag – antianyag aszimmetria: eseményhorizonton kívül lehet antianyag

BICEP2, 2014 március 17.

Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization

Kozmikus háttérsugárzás hőmérsékleti
anizotrópiája: kezdeti sűrűség-ingadozás

COBE \Rightarrow WMAP \Rightarrow Planck

Lecsatolódáskor elektromos módus
(skalár)

Grav. görbíti: B-módus, axiálvektor

B-módusú polarizáció:

inflációs gravitációs hullámok

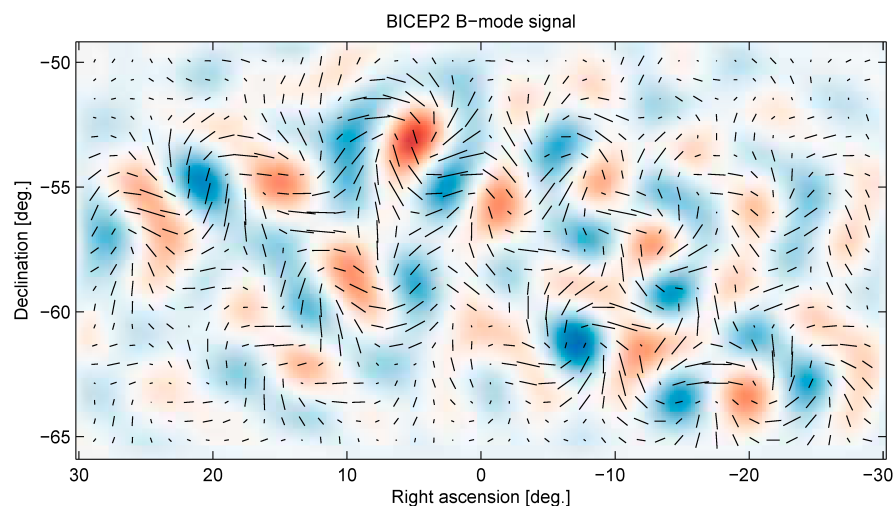
Polarizáció eloszlása égbolt egy
darabján:

óramutatóval, ellentétesen tekerő

Vita: poron szóródástól is lehet



BICEP2 a Déli sarkon



Ősrobbanás (Big Bang)

Látható anyag: $\sim 75\%$ hidrogén, $\sim 25\%$ hélium, $< 1\%$ 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:

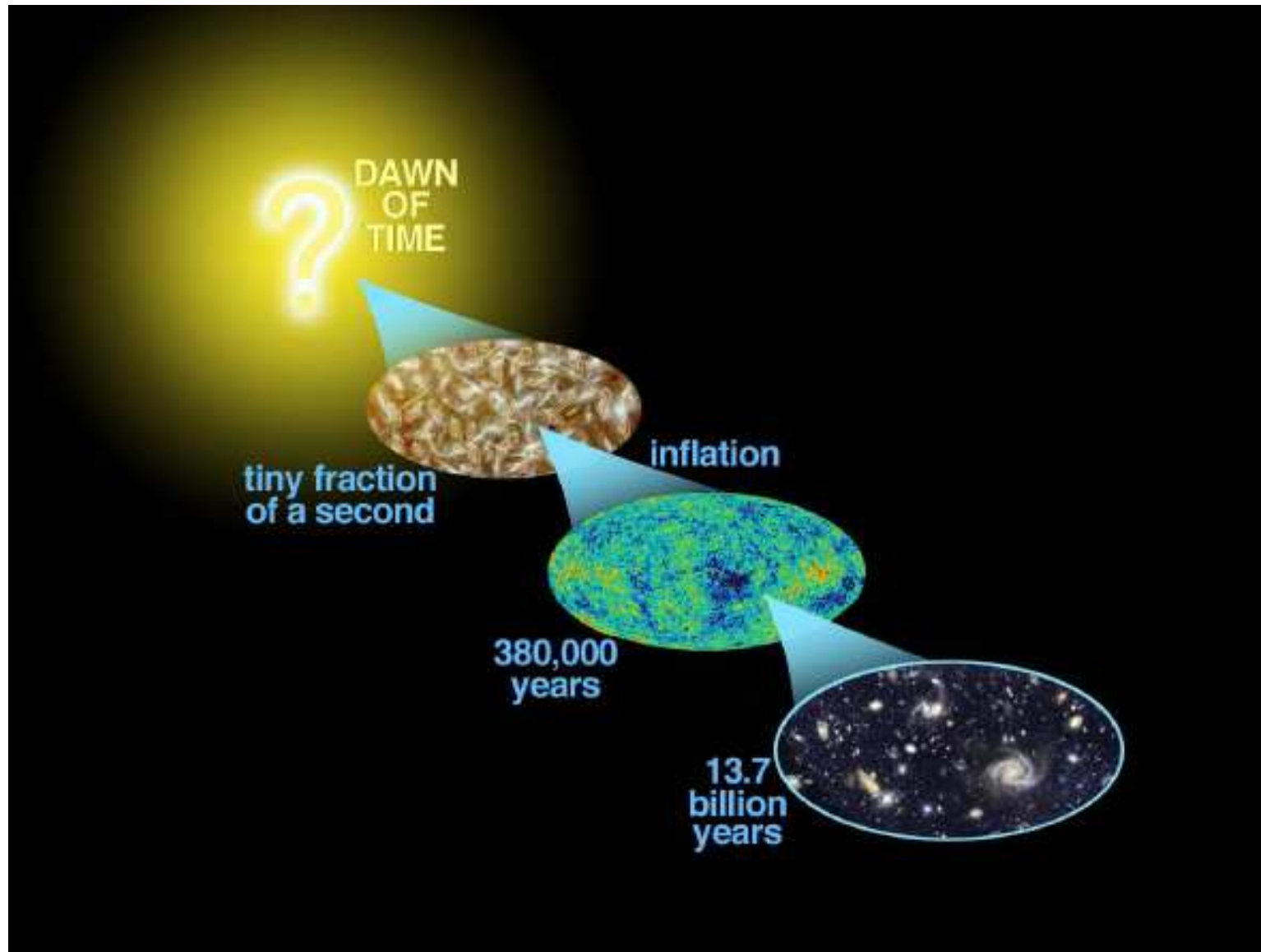
Kvantumfluktuációk \Rightarrow gyors táguláskor térbeli anizotrópia

\Rightarrow sötét anyag gravitációs gödreiben barionos anyag sűrűsödése \Rightarrow

csillagok, galaxisok kialakulása

Bizonyíték: Kozmikus háttérsugárzás anizotrópiája

Ősrobbanás, felfúvódás, sugárzás



Mitől jöttek létre a galaxisok?

Sötét anyag gravitációs gödrei!

Bizonyíték: kozmikus háttérsugárzás anizotrópiája:
bizonyos irányokból sokkal erősebb

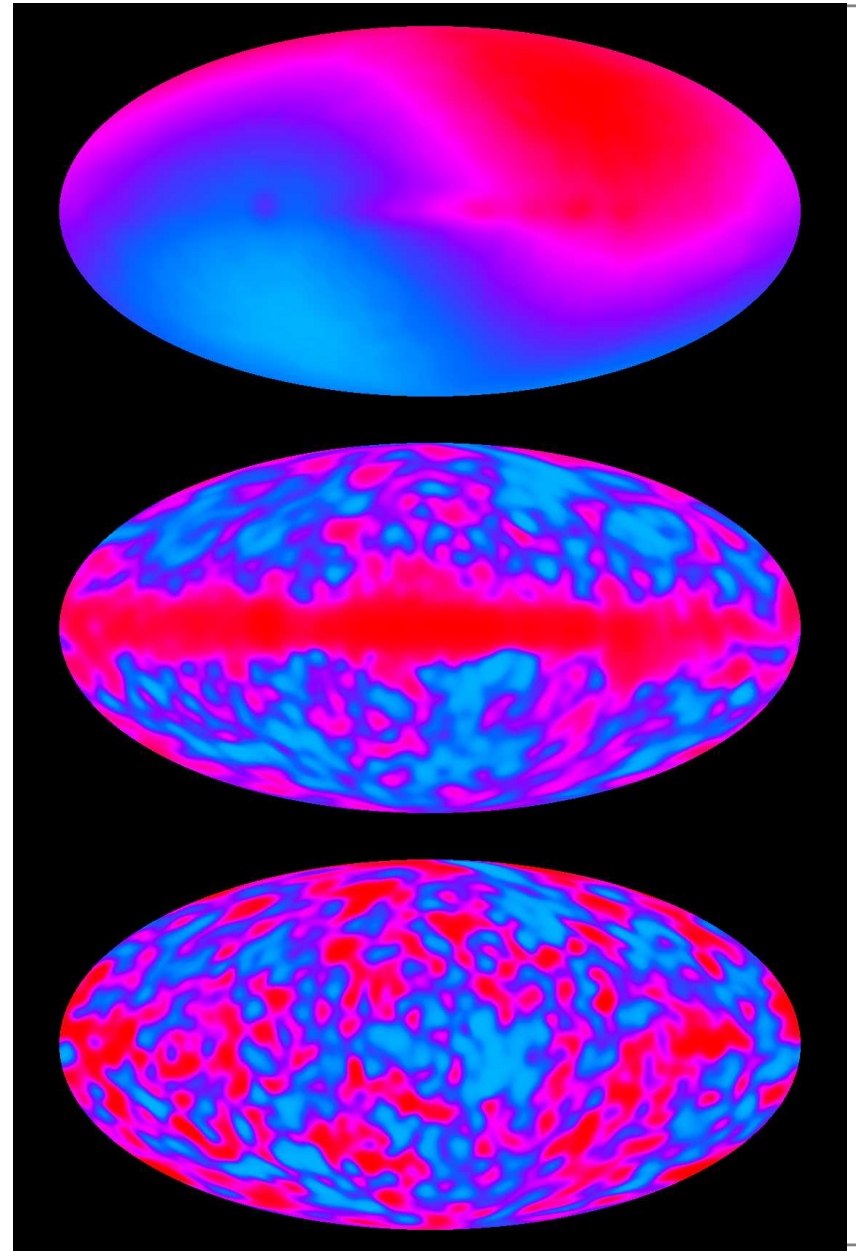
Ott már a csillagok kialakulása előtt
sokkal sűrűbb volt az anyag

A COBE anizotrópiája

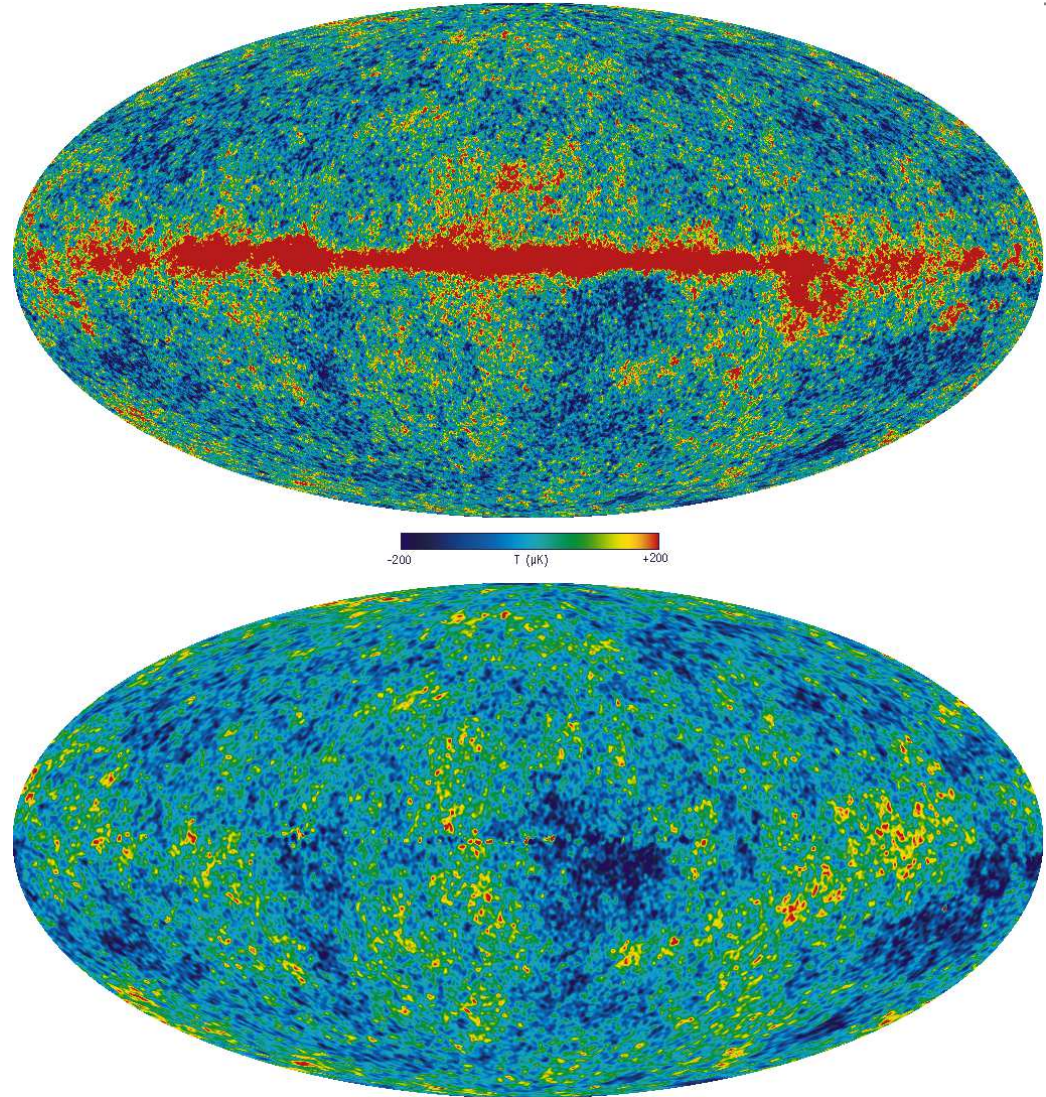
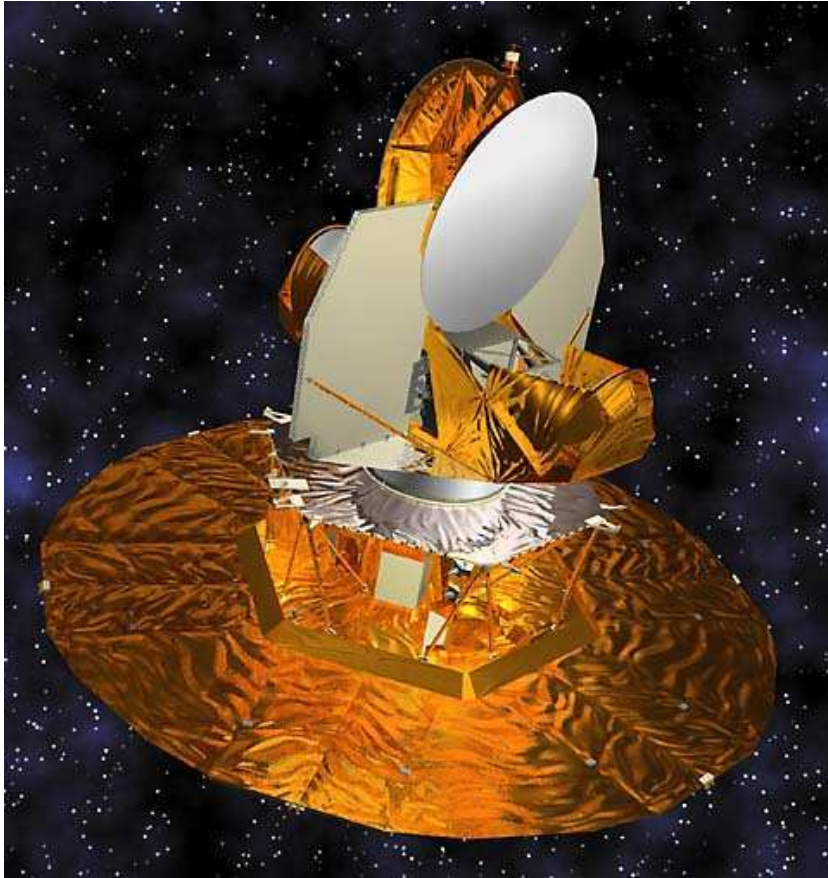
Vörös = 2,721 K
kék = 2,729 K
A Nap mozgása

Tejútrendszer

Maradék anizotrópia



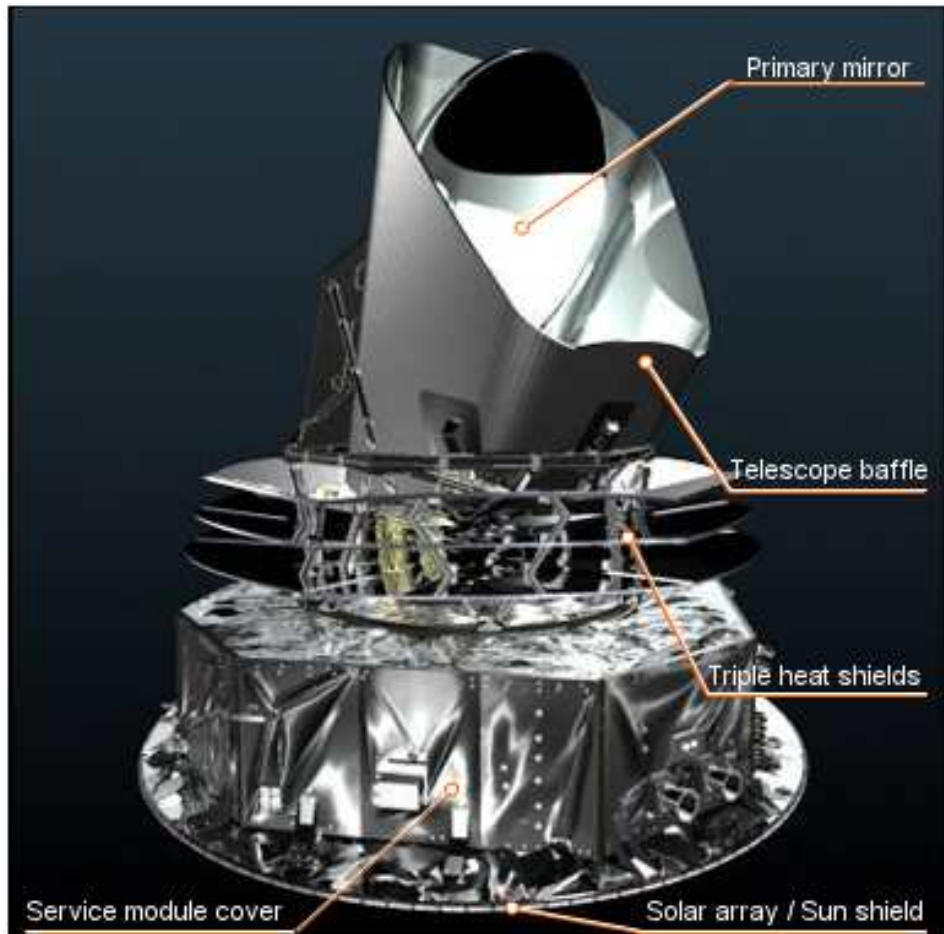
A háttérsugárzás anizotrópiája



Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, 2001-2010

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

A látható fényt vizsgáló Herschel-űrteleszkóppal együtt lőtték fel

Az Univerzum zenéje

Akusztikus spektrum:
rezgési módusok az
ősplazmában

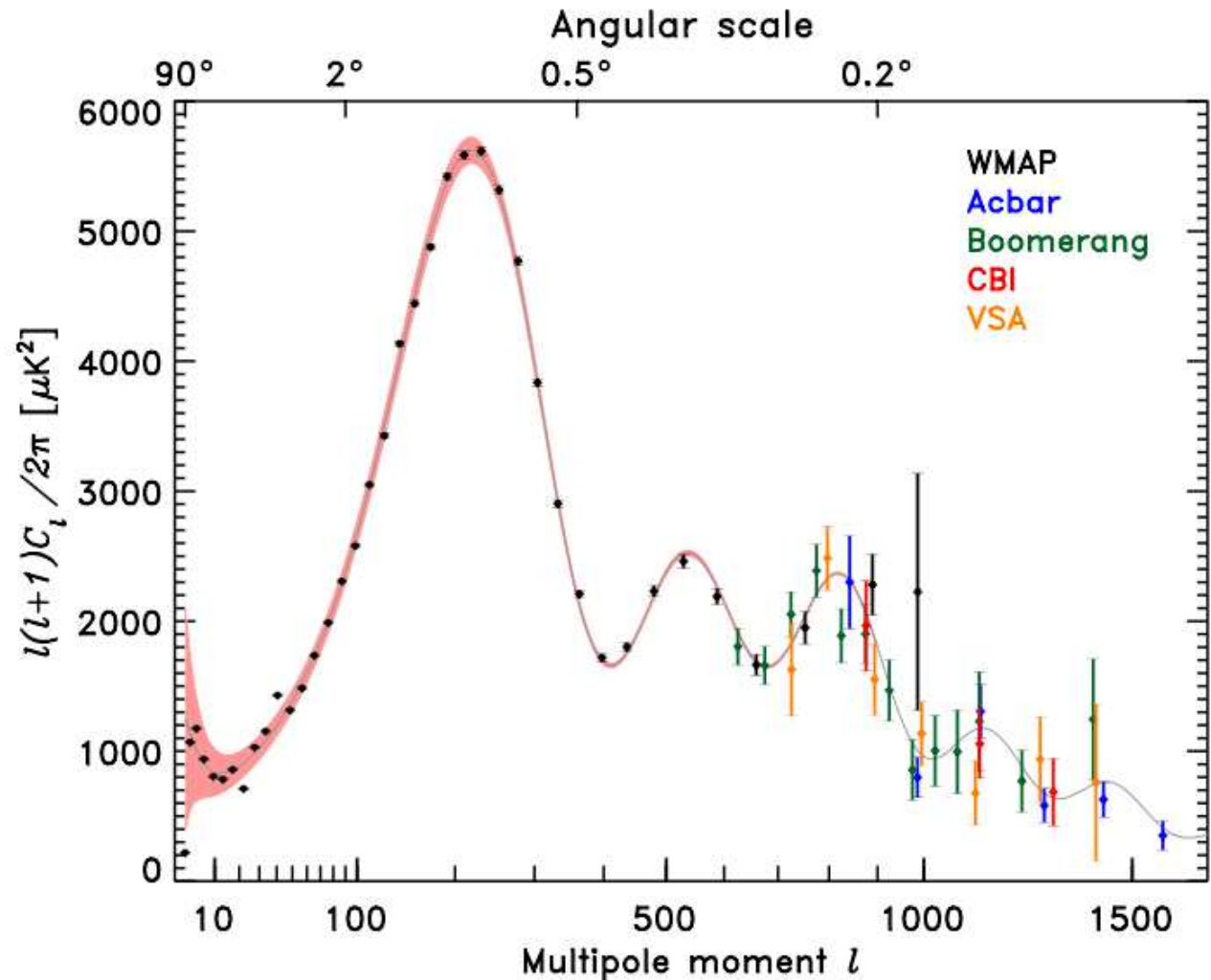
Hullámhossz: szög,
frekvencia: rezgésszám

Főcsúcs helye:
görbület = 0

Csúcsarányok:
barionsűrűség

3. csúcs: sötét anyag
sűrűsége

Lapos Univerzum, $\Lambda \neq 0$



Mi a sötét anyag?

A fizika egyik legnagyobb rejtélye.

Legnépszerűbb hipotézis: szuperszimmetria (SUSY)

Fermionok és bozonok párban, csak spinjük különbözik: $(S - \frac{1}{2})$

$$Q|F\rangle = |B\rangle; \quad Q|B\rangle = |F\rangle \quad m_B = m_F$$

Kis energián sérül, partnereket nem látjuk: nagyobb tömeg?

Királis multiplettek		mérték-multiplettek	
S=1/2	S=0	S=1	S=1/2
kvark: q_L, q_R	skvark: \tilde{q}_1, \tilde{q}_2	foton: γ	fotíno: $\tilde{\gamma}$
lepton: ℓ_L, ℓ_R	slepton: $\tilde{\ell}_1, \tilde{\ell}_2$	gyenge W^\pm bozonok Z	wino: \tilde{W}^\pm zino: \tilde{Z}
higgszínó: $\tilde{\Phi}, \tilde{\Phi}'$	Higgs: Φ, Φ'	gluon: g	gluínó: \tilde{g}

Kandidátus: legkönnyebb, semleges SUSY-részecske

Miért várjuk, hogy meglegljük, ha nem lehet észlelni?

Ősrobbanás (Big Bang) időrendje

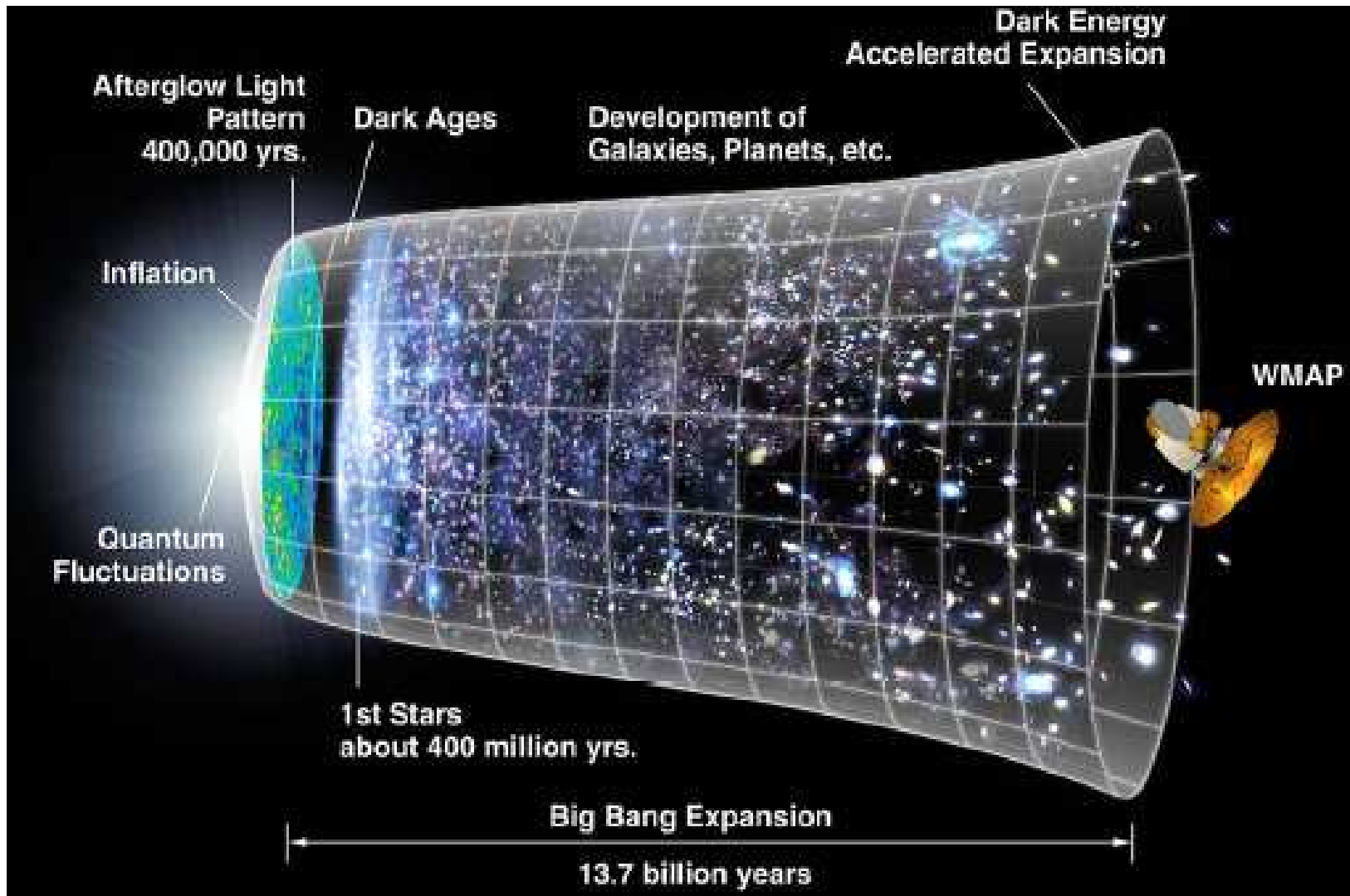
Esemény	idő	hőmérséklet	$\rho^{1/4}$
Planck-idő (infláció ↓?)	10^{-36} s		10^{18} GeV
Nagy egyesítés	10^{-32} s		10^{16} GeV
Elektrogyenge ↑? (bariogenezis)	10^{-6} s	10^{15} K	100 GeV
Kvark → hadron	10^{-4} s	10^{12} K	100 MeV
Nukleonok	1–1000 s	$10^9 - 10^{10}$ K	0,1 – 1 MeV
Lecsatolódás	380000 év	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, lapos Univerzum

Az elemek keletkezése

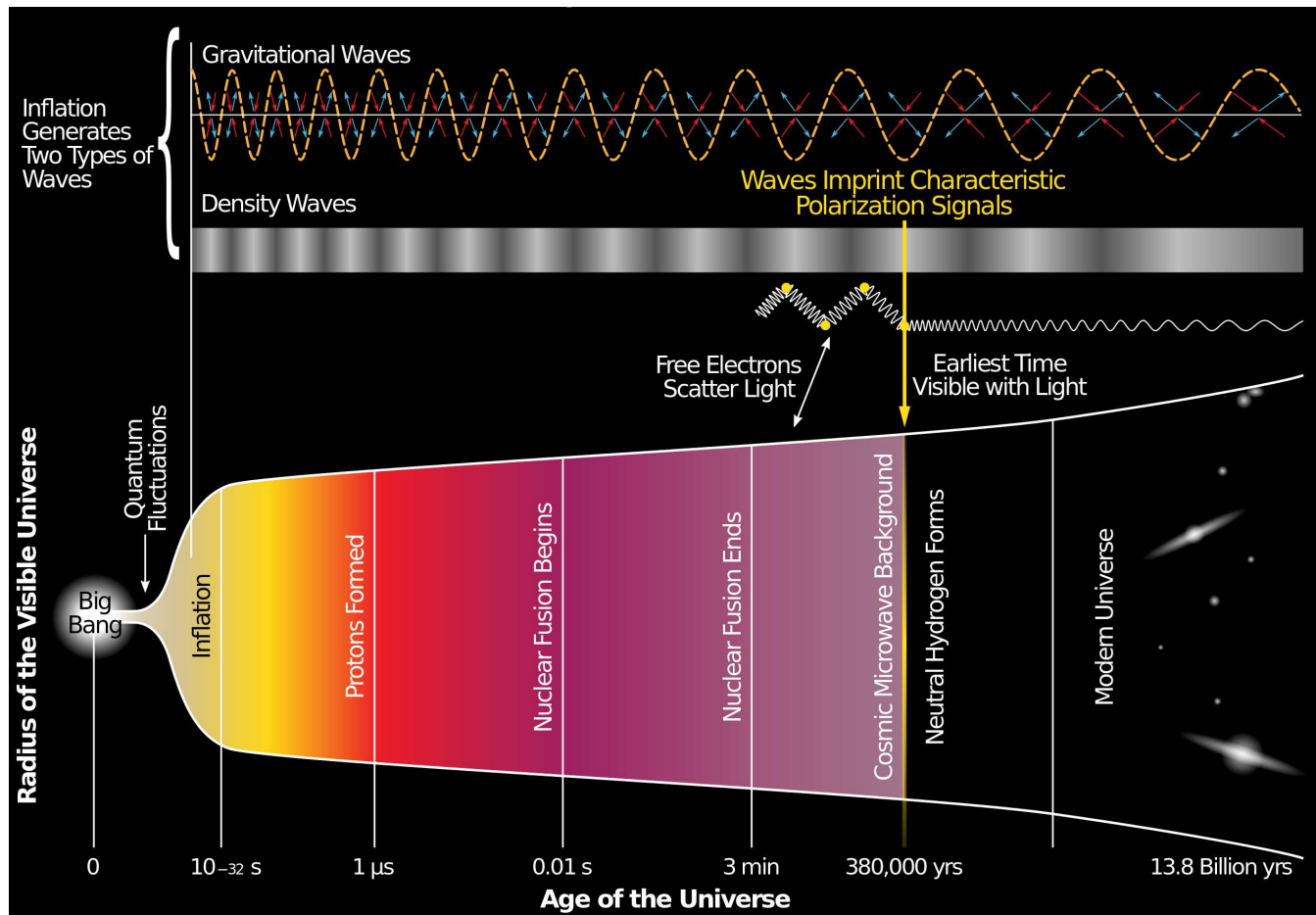
- Ősrobbanás után 3 perc: $T < 10^9$ K \Rightarrow egy nagy csillag, H \rightarrow He fúzió (75% H₂ + 25% He)
- Sokkal később csillagok, belül forró fúzió, nehezebb elemek (szén felett).
- Szupernova robbanása \Rightarrow nehéz atomok szétszóródnak.
- Li, Be, B: csillagban szétesik, csillagközi térben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

A történet eddig



BICEP2 értelmezése

Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization

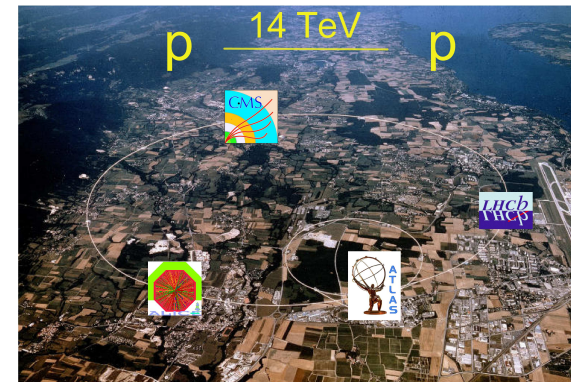
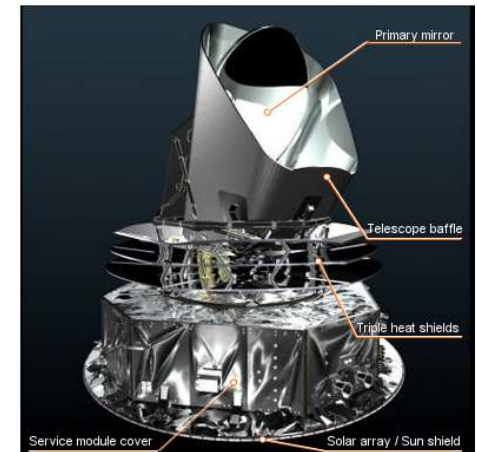


Felfúvódáskor a grav. hullámok polarizálták a töltött anyag sűrűség hullámait.

PLANCK-együttműködés ellenvetése: a háttérsugárzás szóródhat csillagközi poron, az is polarizálhat.

Vissza az Ősrobbanás közelébe?

- Távcső: 4 milliárd év a Nagy Bumm után
(Európai Déli Obszervatórium, Chile,
Very Large Telescope)
- Mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás:
Párszázézer év
(amikor az Univerzum átlátszó lett).
- Nagy hadron-ütköztető (CERN LHC):
Milliomod másodperc
(mielőtt az atomok kialakultak volna)
LHC = időgép, de ükanyánkkal nem találkozunk...



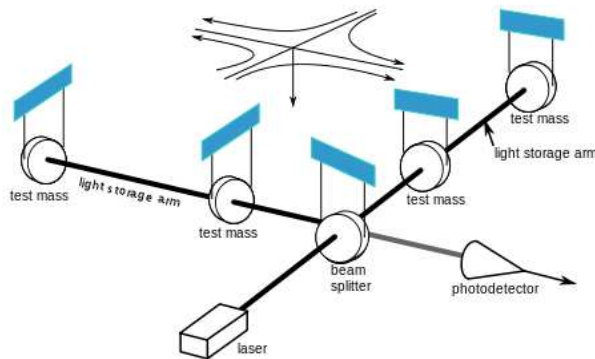
Gravitációs hullámok észlelése??

Két óriási kísérlet:

LIGO: Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (2002-2010).

Két berendezés, 4+4 km-es L-karokkal, 3002 km-re egymástól:
Livingston, Louisiana és Hanford, Washington, USA (magyarok: ELTE)

EGO: European Gravitational Observatory, Cascina, Olaszország
VIRGO interferométer, 3+3 km karok, 2007-2010 (magyarok: Wigner FK)



A mérés elve

LIGO, Hanford

VIRGO, Cascina

Szoros együttműködés a kettő között, érzékenység folyamatos növelése.

Terv: Evolved Laser Interferometer Space Antenna (eLISA),
10⁶ km-es karok háromszögben, 1934-es fellövés (?).

Ősrobbanás és vallás

Ősrobbanás értelmezéséhez
az evolúció a fő kérdés

A legtöbb vallás elfogadja

XII. Pius már az ötvenes években
beletörődött egy részleges evolúcióba.

A Vatikán ma teljes mértékben elfogadja.



XII. Pius pápa

Evolúció és a Vatikán

2009. február: G. Ravasi bíboros, a Pontifical Academy of Sciences elnöke, abból az alkalomból, hogy a Vatikán konferenciát szervezett **Charles Darwin: *A fajok eredete*** megjelenésének 150. évfordulójára:



Habár a Vatikán korábban ellenséges volt a darwinizmussal szemben, soha nem vetette azt hivatalosan el és a könyvet sem ítélte el. Az evolúció ötlete már Szent Ágoston és Aquinói Szent Tamás műveiben is fellelhető.

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.*
- XIII. fejezet: *A teremtés előtt nem volt idő, mert ez maga a teremtmény.*

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>

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.

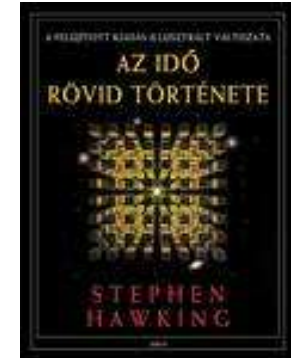
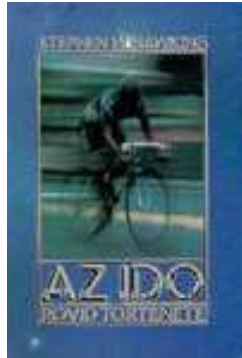
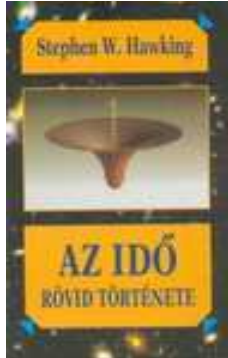
Ősrobbanás és II. János Pál

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

... 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