

# Kozmológia: a világ keletkezése – ősrobbanás és teremtés

*MTA ALUMNI, Teleki Blanka Gimnázium,  
Budapest, 2024.02.27*

**Horváth Dezső**

horvath.dezso@wigner.hun-ren.hu

Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest,  
Debreceni Egyetem, Fizikai Intézet  
és Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár

# Vázlat

- Táguló Világegyetem.
- Ősrobbanás, felfúvódás.
- Lemaître és Einstein.
- Kozmikus háttérsugárzás.
- Sötét anyag és sötét energia.
- Gravitációs hullámok.
- Fekete lyukak és neutroncsillagok.
- Ősrobbanás és vallás.
- Szent Ágoston: Teremtés és Idő.
- 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.

A szavak mögött **pontos matematika és kísérleti tapasztalat.**

**A fizika kísérleti tudomány. Számítások és azok kísérleti igazolása nélkül nincs fizika, csak spekuláció.**

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

*Mi és hogyan: fizika.*

# Mi a kozmológia?

A Világegyetem egészével foglalkozik.

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

# Rejtély: Miért van éjjel sötét?

Heinrich Wilhelm Matthias Olbers paradoxonja, 1823

(Előtte Cosmas Indicopleustes, 550; Thomas Digges, 1576; Johannes Kepler, 1610; Edmond Halley, 1721 és mások)

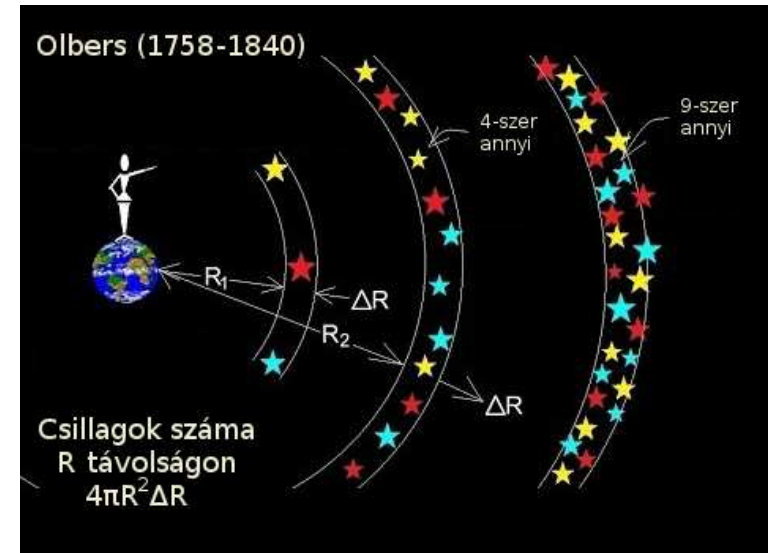
Végtelen kiterjedésű és örökké létező Világegyetem végtelen sok csillaggal  $\Rightarrow$  egyenletesen fényes égbolt éjjel-nappal, mert minden pontban végtelen sok csillagra nézünk

Fényesség  $\sim 1/r^2$ , sűrűség  $\sim r^2$ , por is izzana

Fő magyarázat: Sötét éjszaka  $\Rightarrow$  véges méretű és/vagy korú Világegyetem.

Alternatív (de el nem fogadott) magyarázatok:

- véges élettartamú, pusztuló csillagok;
- távolodás miatt láthatatlanba növvő hullámhossz



„A paradoxon mindössze ellentmondás a valóság és aközött, amilyenek szerintünk a valóságnak lennie kellene” (R. Feynman)

# A Világegyetem szerkezete

Nagy skálán  
homogén és izotróp

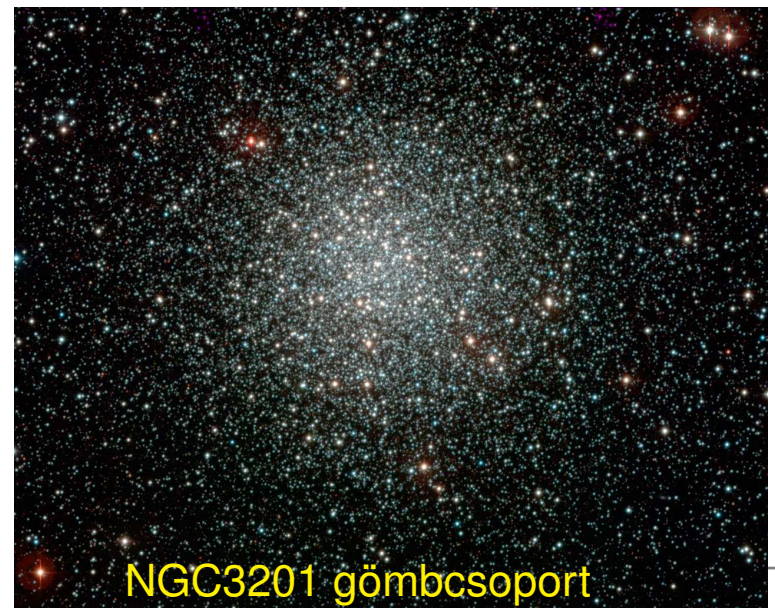
Kis (?) skálán látunk:

$\sim 10^{11}$  galaxist

és galaxisonként  $\sim 10^{11}$  csillagot

A Vela galaxis NGC3201  
gömbhalmaz  $\sim 10000$   
csillaggal

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

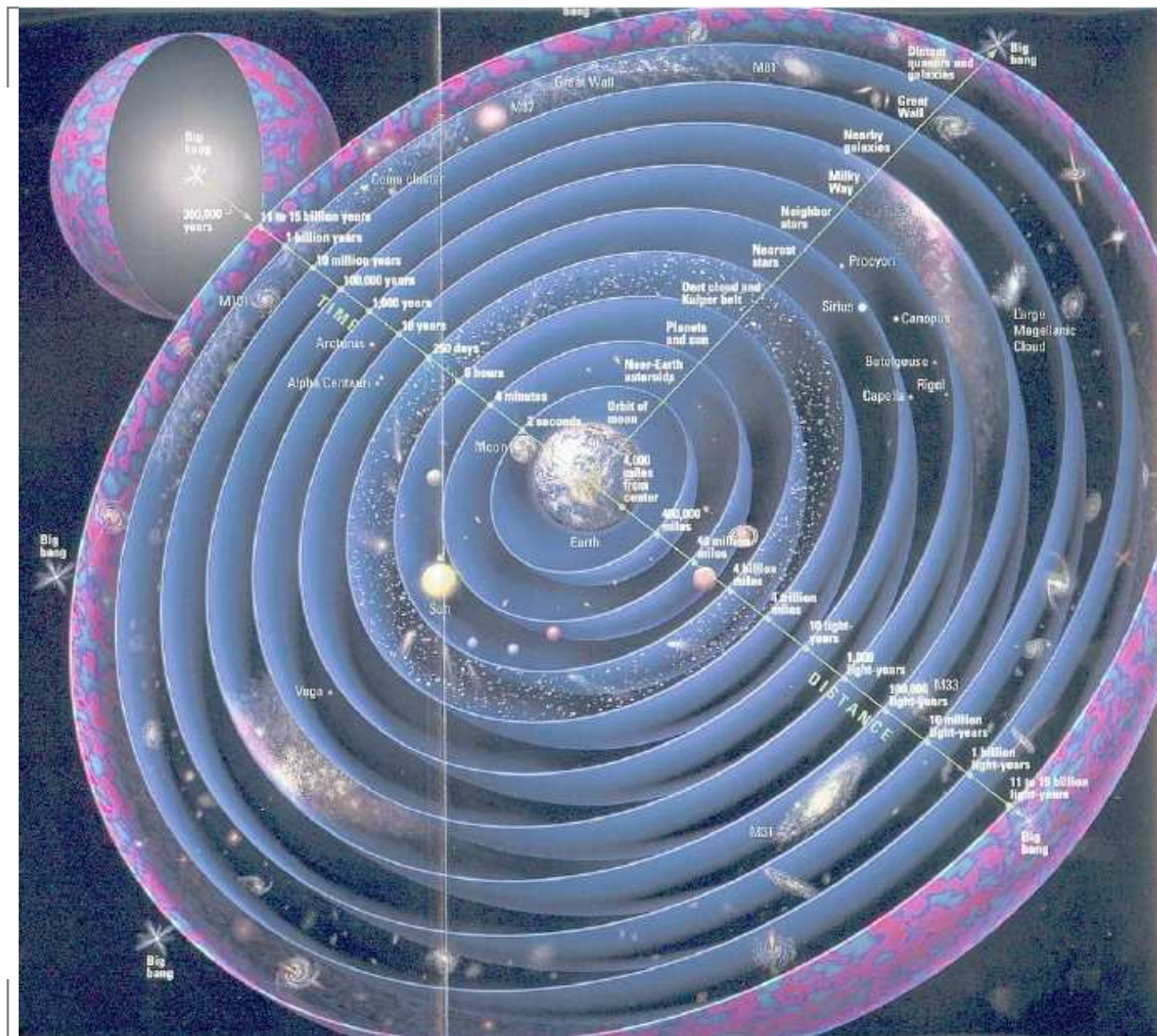


# Messzebbre nézünk, korábbra látunk

*Annál mi van, a  
semmi ősebb*

(Kosztolányi Dezső:  
*Ének a semmiről*)

Az ősrobbanás volt  
tér és idő kezdete.  
Amerre nézünk,  
mindenütt az  
határol.



# Távolodó galaxisok

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

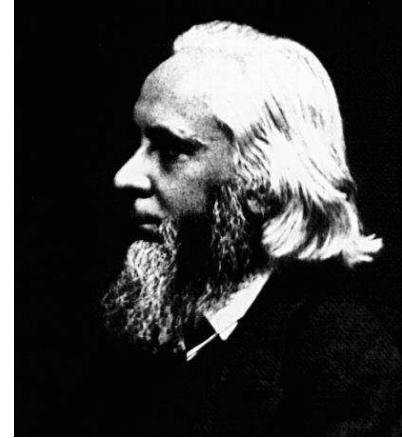
$\lambda_v$ : hullámhossz  $v$  sebességnél

Közeledő motor hangja magasabb, távolodóé mélyebb

William Huggins, 1868:

csillagok szinképében  $z > 0$ : vörösetolódás

Tőlünk távolodó objektum fényhullámhossza nő  $\Rightarrow$  vörösebb



Henrietta Swan Leavitt, 1912:

Változócsillagok (cefeidák):

Kicsi  $\rightarrow$  duzzad, nagyra nőtt  $\rightarrow$  zsugorodik

(Hélium ionizációja,  $+ \rightarrow ++$ , átlátszatlan, hevül)

periódusidő  $\sim$  abszolút fényesség

(3 napos periódus: 800 napfényesség,

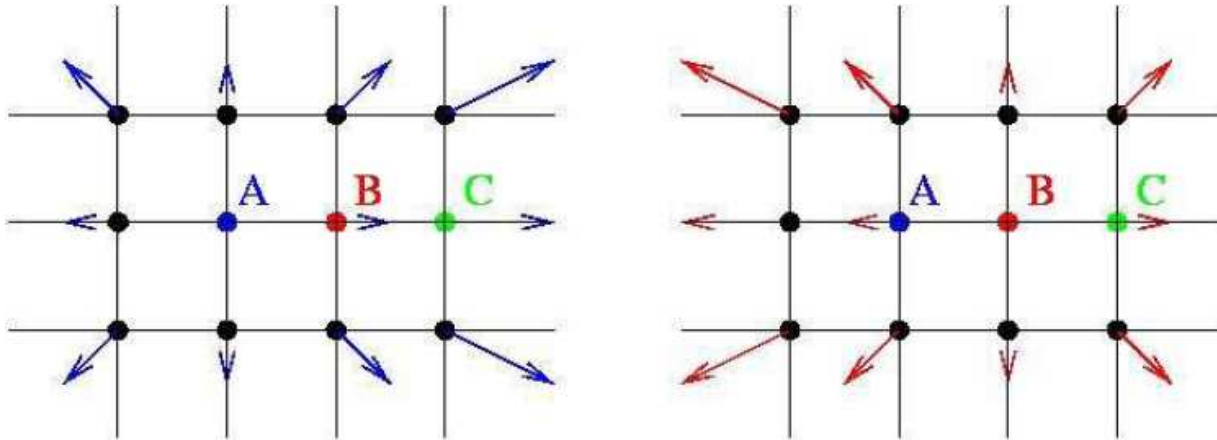
30 napos: 10000 napfényesség)

észlelt fényesség + periódusidő  $\Rightarrow$  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  $\Rightarrow$  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*

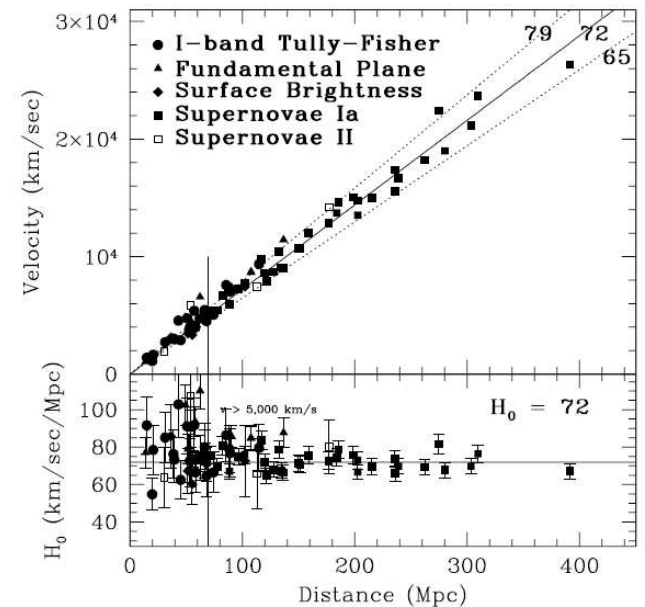
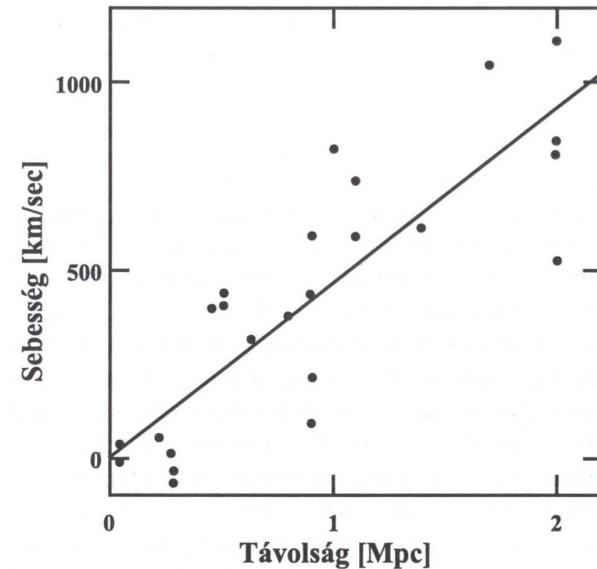
$$\underline{v} = H \underline{r} \text{ sebességgel}$$

$$H = 70 \text{ km/s/Mpc}$$

(1 Mpc  $\approx 3 \times 10^6$  fényév)

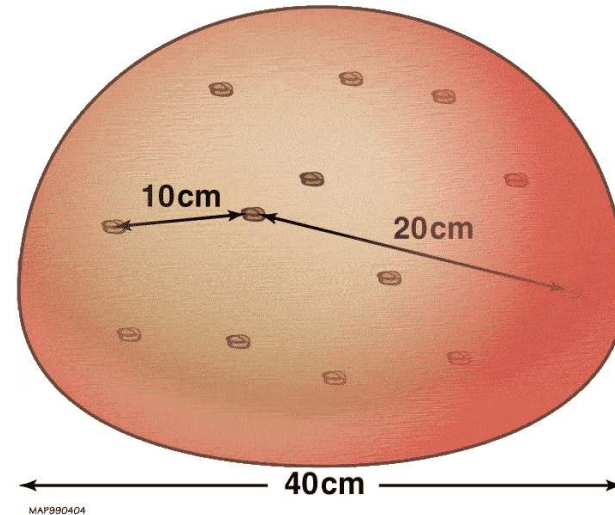
A Világegyetem kora:

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



# Táguló világegyetem

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



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

**Nem tágul, amit valami összetart**  
(Atom, méterrúd, csillag, galaxis)

# Sötét anyag

Spirálgalaxisok  
forgási sebessége  
kifelé nem csökken,

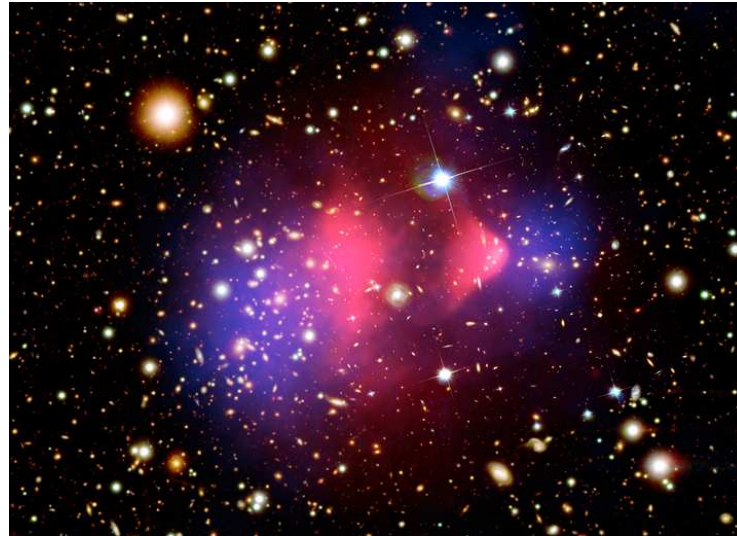
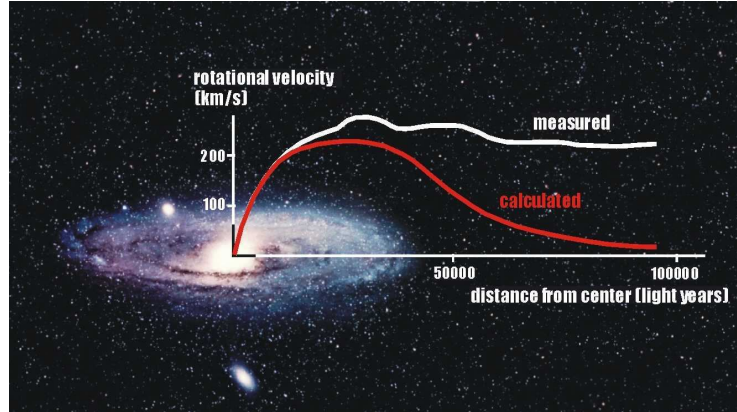
pedig Kepler II:

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

Sokkal több gravitáló  
anyag, mint látható  
galaxisok mögött és  
körül nagy  
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

(Jan Oort, 1932; Fritz Zwicky, 1933; Vera Rubin, 1966)

# Az ősatom hipotézise

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

*A Világ kezdete a kvantumelmélet  
szempontjából,*  
Nature 127 (1931) 706.



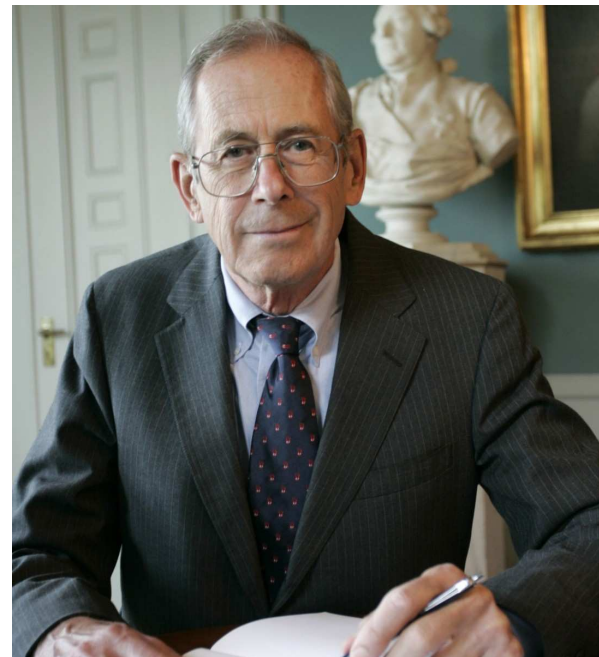
A kozmikus tojás felrobbanása a Teremtés pillanatában  
(*Tegnap nélküli nap*)

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

# Az ősrobbanás Nobel díja, 2019

## Phillip James Edwin Peebles (Princeton Egyetem)

James Peebles hatása a fizikai kozmológiára az egész tudományos területet gazdagította és megalapozta a kozmológia átalakítását az utóbbi 50 évben spekulációból tudományba. Az elméleti keret, amelyet a hatvanas évek közepe óta fejlesztett, szolgált alapul a világegyetemről alkotott jelenlegi képünknek.



(Nobel-bizottság: indoklás)

*„Szerencsétlen dolog a kezdeteken tűnődni, amikor nincs semmiféle jó elméletünk olyasmire, hogy kezdet”*

# The Big Bang Theory (Agymenők)



The Big Bang Theory (Agymenők) fizikusa David Saltzberg (UCLA–CMS):

<https://thebigblogtheory.wordpress.com/>

# Lemaître és Einstein

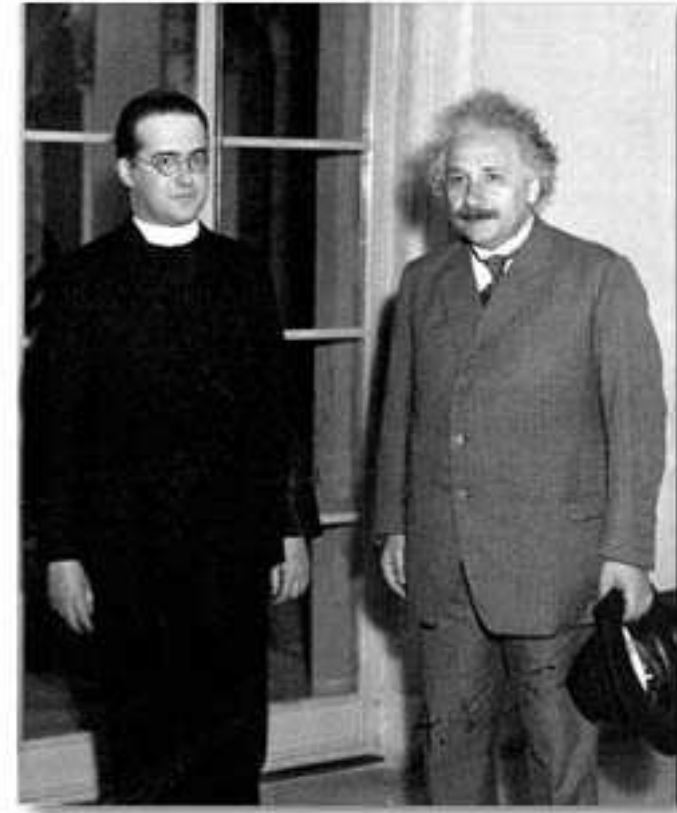
Einstein 1927-ben, Lemaître levezetésére,  
hogy az általános relativitáselmélet táguló

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

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

# 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)

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

14 milliárd év, tágulás 1000x: fotonok hullámhossza nő,  $T = 3000 \rightarrow 3$  K

Galaxisok eredete:

Sűrűségingadozások  $\Rightarrow$  gyors táguláskor térbeli anizotrópia

$\Rightarrow$  sötét anyag gravitációs gödreiben barionos anyag sűrűsödése  $\Rightarrow$   
csillagok, galaxisok kialakulása

Bizonyíték: Kozmikus háttérsugárzás anizotrópiája

# Hubble-teleszkóp: a Világegyetem mélye



1 millió mp megfigyelés egy *sötét* ponton  $\Rightarrow$   
> 10000 tízmilliárd évnél *régebbi* galaxis

# James Webb űrteleszkóp (JWST)

$L_2$  Lagrange-pont közelében (állandó Nap-Föld-Hold irány)

Földtől  $1,5 \cdot 10^6$  km, nem javítható

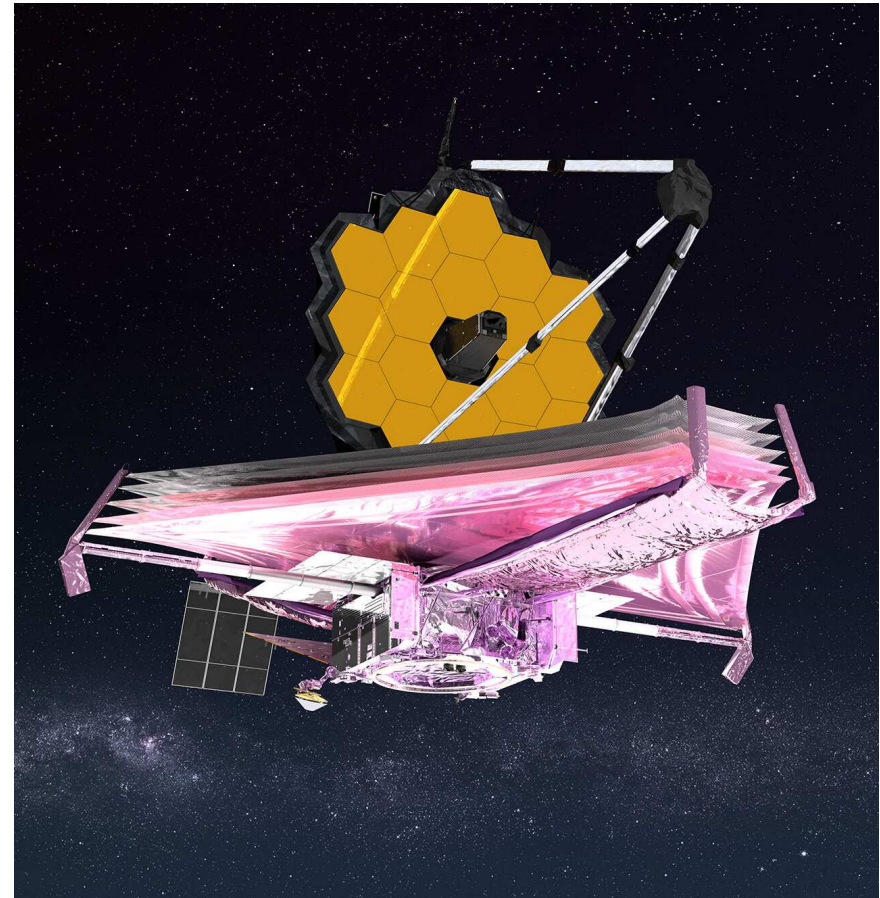
Korai galaxisok, infravörös csillagászat (Nap, Föld sugárzása árnyékolva)

Fellőve 2021 karácsonyán, már működik, gyönyörű képek



Hubble-2017  $\Leftrightarrow$  JWST-2022

A SMACS J0723.3-7327 galaxiscsoport



# Sötét energia??

Távoli szupernóvák vizsgálatából:  
gyorsulva táguló Világegyetem!

Valami „kifelé szívja”?



Saul Perlmutter



Brian Schmidt



Adam Riess

Felfedezés: 1998, Nobel-díj: 2011

Most megkérdőjelezték a galaxisok gyorsuló tágulását, de a sötét energiára sok egyéb bizonyíték is van

# 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 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,  
de nem tudjuk...

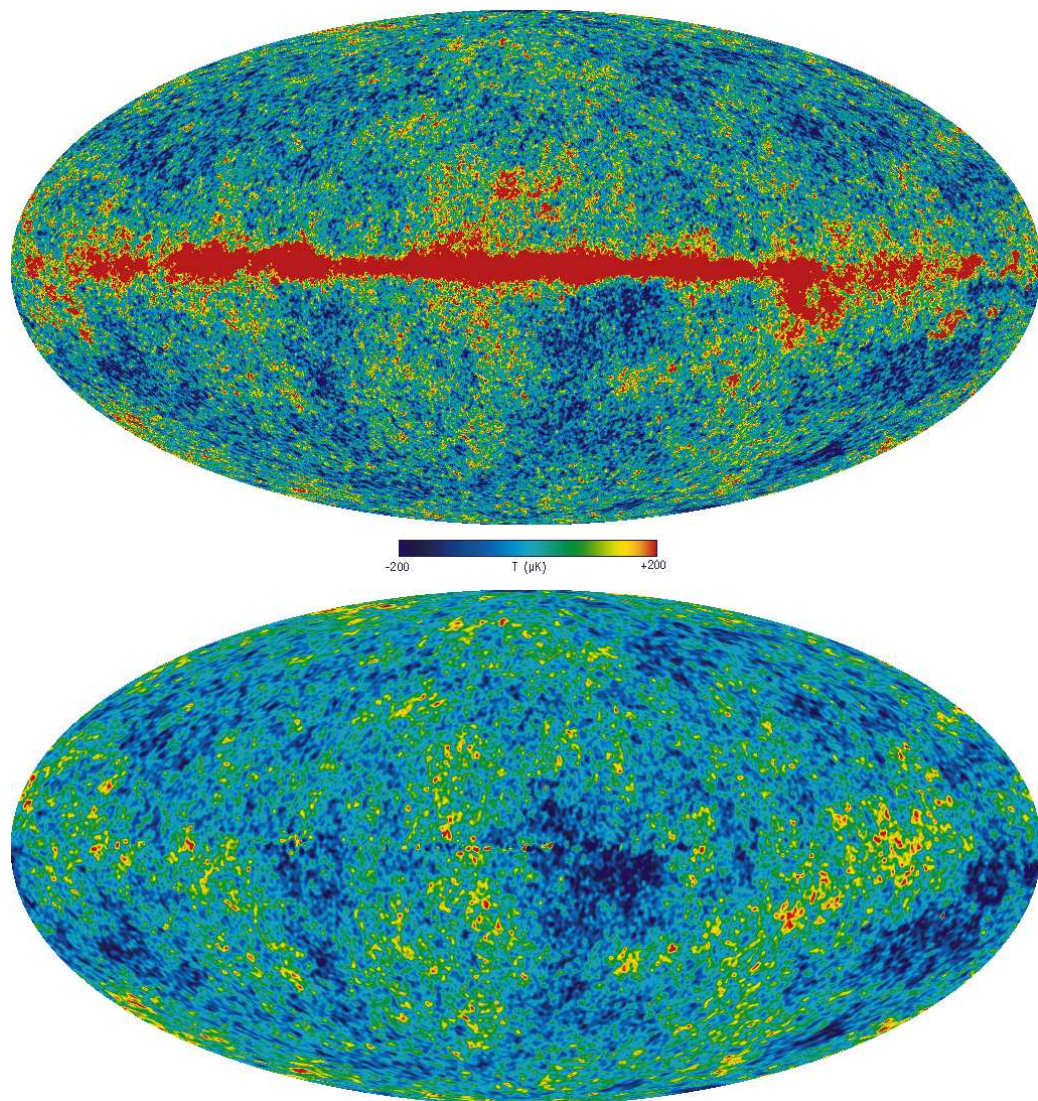
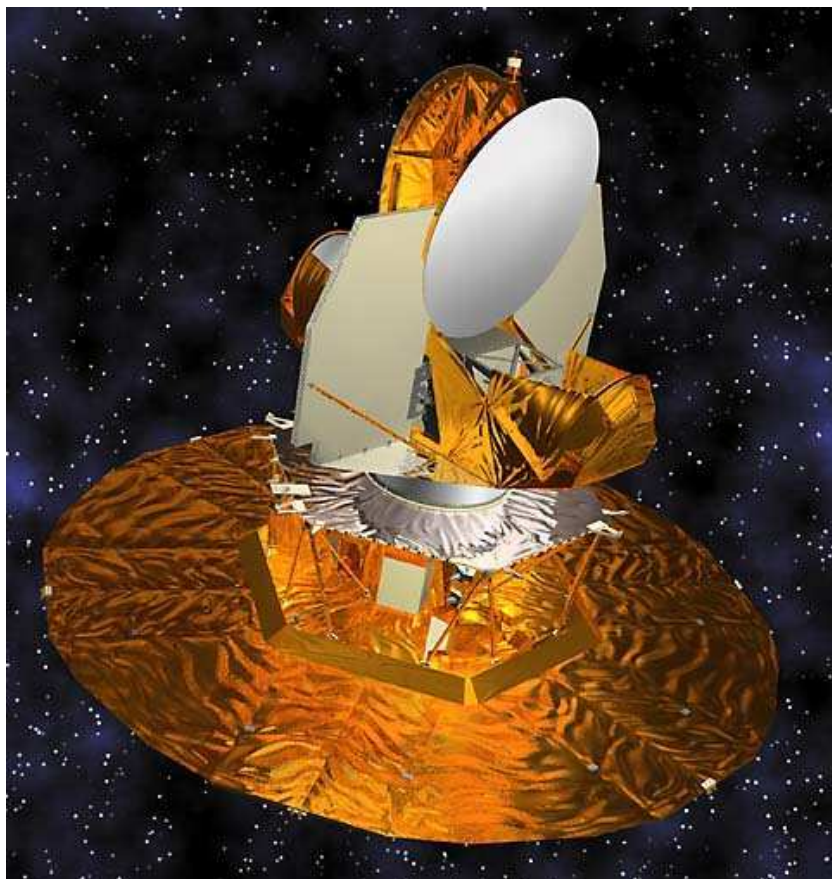
# Mitől jöttek létre a galaxisok?

Sötét anyag gravitációs gödre!

Bizonyíték: kozmikus háttérsugárzás irányfüggése:  
bizonyos irányokból magasabb hőmérsékletű

Ott már a csillagok kialakulása előtt  
sokkal sűrűbb volt az anyag

# A háttérsugárzás hőmérséklete

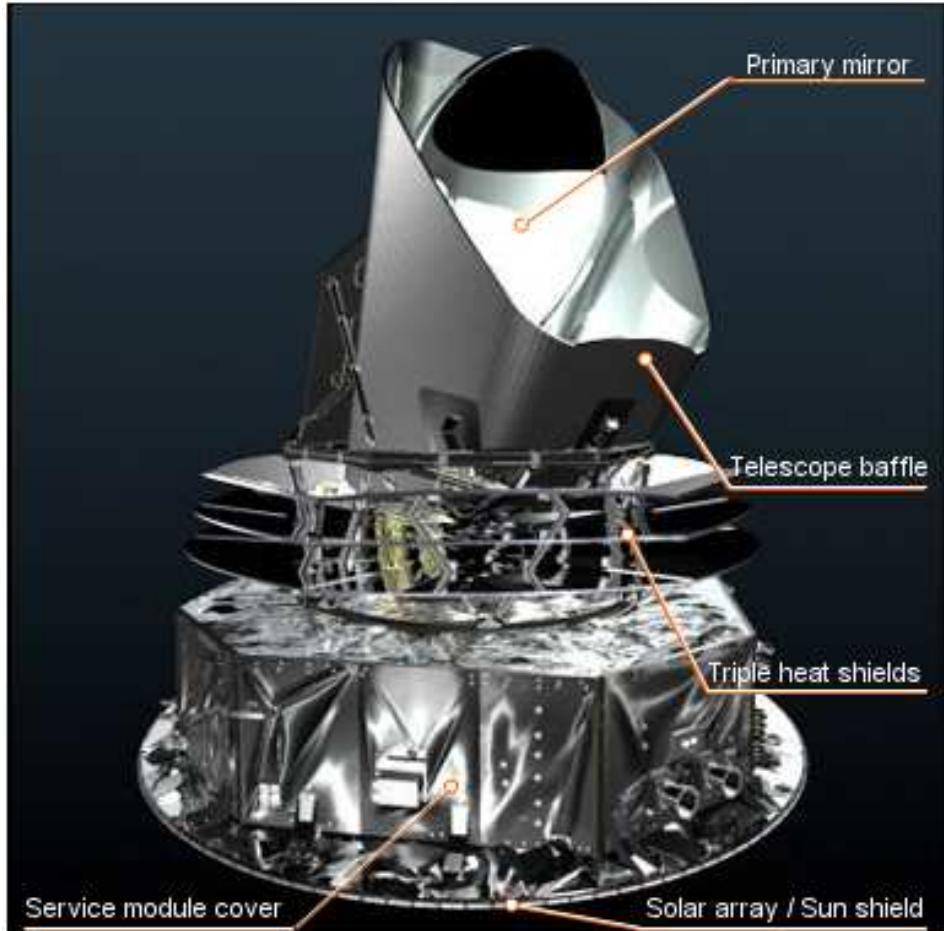


Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, 2001-2010  
COBE  $\Rightarrow$  WMAP  $\Rightarrow$  Planck



# A Planck-űrszonda, ESA, 2009–2012

(a kozmikus háttérsugárzás vizsgálatára)



A Planck-űrszonda:

4,2 m; 2,4 t; 1,5 millió km

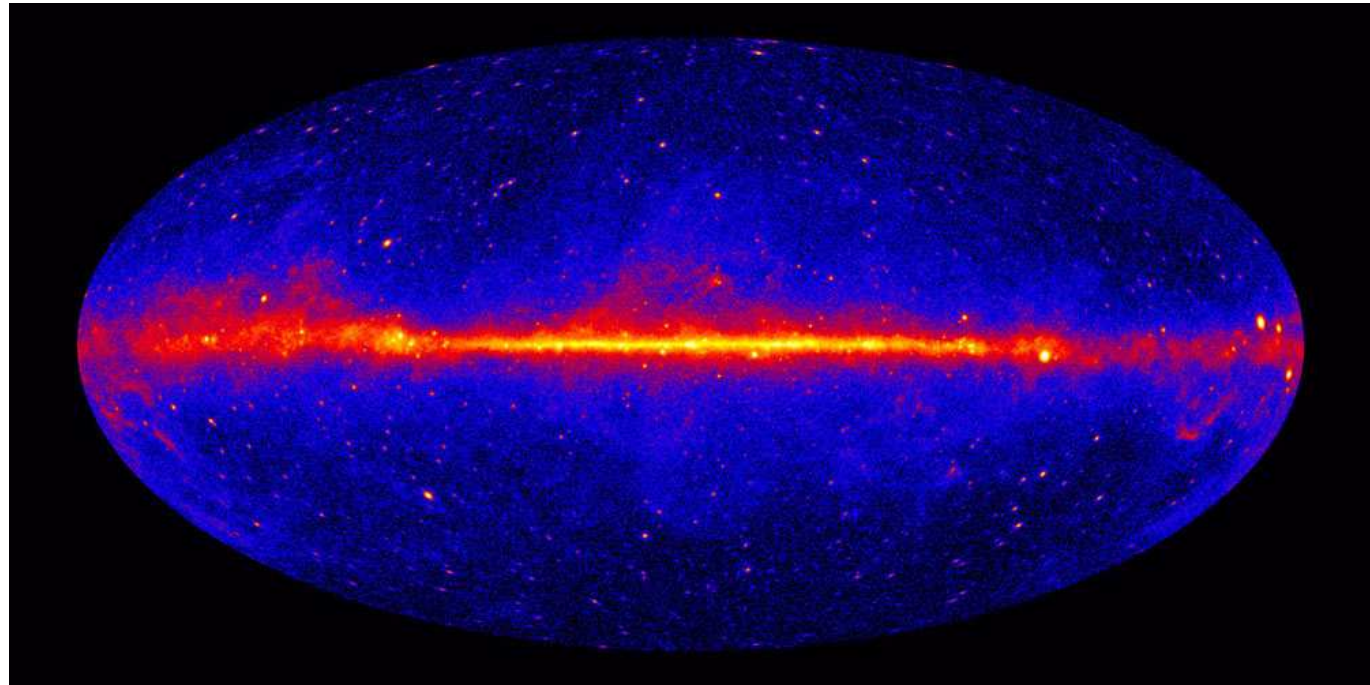


Herschel-űrteleszkóp:

Csillagképződés az Orion-ködben

# Fermi Large Area Telescope, 2008–

FLAT: Űrteleszkóp nagyenergiás gamma-sugarak  
(gamma-kitörések) észlelésére



3 év termése

(<https://kipac.stanford.edu/research/projects/fermi>)

# Anyagegyensúly ma

WMAP, 2010; PLANCK, 2015

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):  $\Omega_B \sim 5\%$

Csomósodó, nem-barionos, hideg sötét anyag:

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

Gyorsuló tágulás: sötét energia  $\Omega_\Lambda \sim 69\%$

A Világegyetem kora:  $13.798 \pm 0.021$  milliárd év

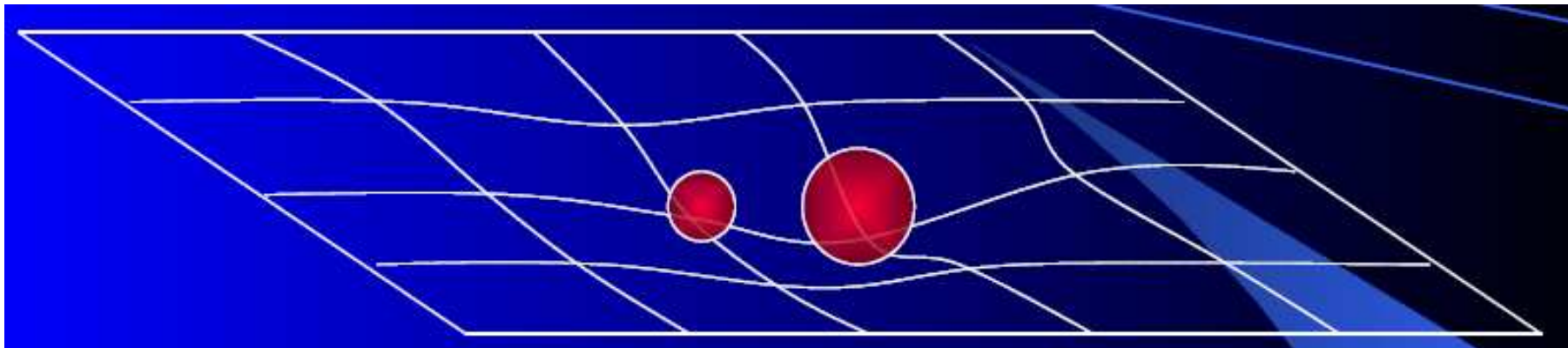
# Az elemek keletkezése

- Ősrobbanás után 3 perc:  $T < 10^9$  K  $\Rightarrow$  egy nagy csillag, H  $\rightarrow$  He fúzió (75% H<sub>2</sub> + 25% He)
- Sokkal később csillagok, belül forró fúzió, nehezebb elemek (szén felett).
- Szupernóva robbanása  $\Rightarrow$  nehéz atomok szétszóródnak.
- Li, Be, B: csillagban szétesik, csillagközi térben keletkezik.
- Nehéz elemek mennyisége lassan növekszik.

# Általános relativitáselmélet

Newtoni gravitáció + állandó fénysebesség (Einstein, 1915)

- Görbült téridő ( $t, x, y, z$ )
- Görbület tömegtől
- Szabadesés geodéziai vonalak mentén



Gravitációs potenciál  $\Rightarrow$  tér görbülete

"A relativitáselméletben az anyag megmondja a térnek, hogyan görbüljön, a tér meg az anyagnak, hogyan mozogjon" (Douglas Adams)

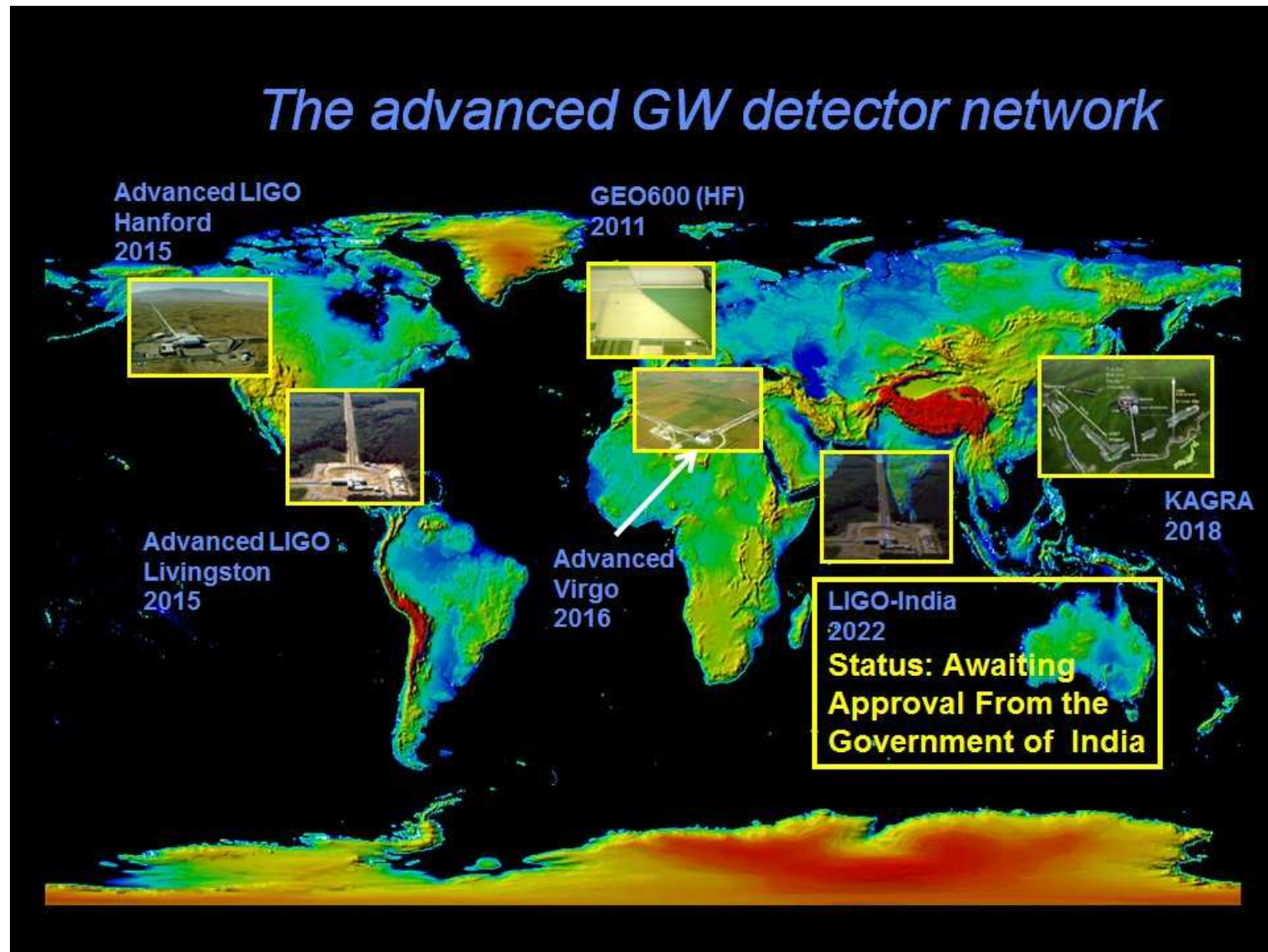
Gravitáció változása  $\Rightarrow$  térszerkezet fodrozódása

$\Rightarrow$  gravitációs hullámmás

# Gravitációs hullámok

- 1916: Einstein megjósolja a létezésüket.
- 1962: M. E. Gertsenshtein and V. I. Pustovoit (SzU) optikai módszert javasol a megfigyelésükre. 1972: R. Weiss (MIT, USA) is javasolja.
- 1979: LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) tervezése, 1994: Kezdődik LIGO építése két helyen: Washington és Louisiana. 1996: VIRGO építése Pisa mellett.
- 2007: LIGO + VIRGO együttműködés. 2002-2010: Nem észlelnek grav. hullámot → újjáépítés
- 2015. szept.: Advanced LIGO működik, 2016. aug.: Advanced VIRGO is
- 2016. febr. 11: LIGO: fekete lyukak összeolvadása
- 2017. okt., Nobel-díj: Rainer Weiss, Kip Thorne és Barry Barish
- 2017. okt. 16: 2 neutroncsillag összeolvadása (ötféle észlelés!)

# Grav. hullám: obszervatóriumok



Több észlelési pont: forrás iránya és távolsága

# Gravitációs hullám észlelése



LIGO, Hanford:  $2 \times 4$  km



VIRGO, Pisa mellett:  $2 \times 3$  km

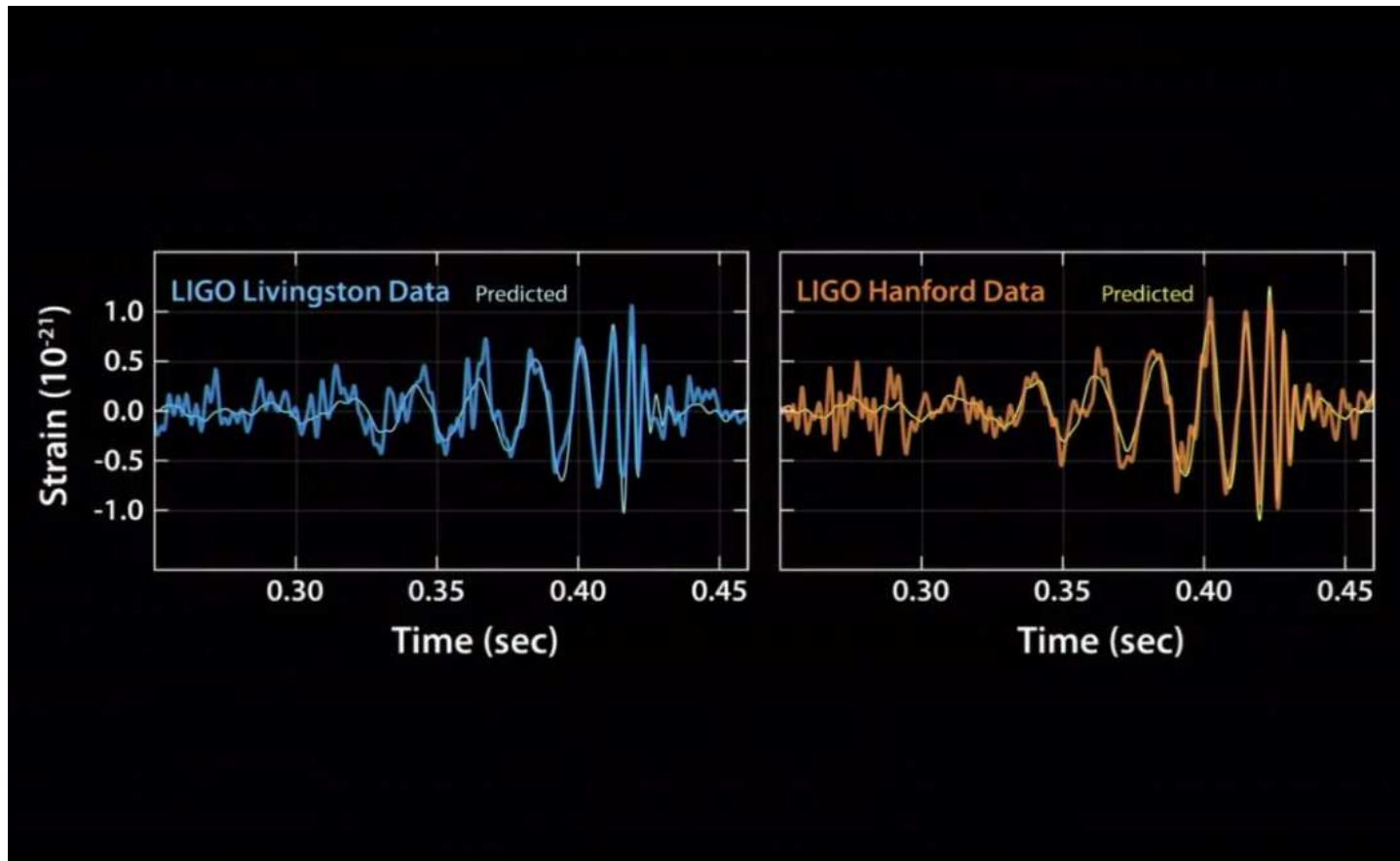
Sokszorososan oda-visszavert lézersugarak merőleges csövekben:  
grav. hullám megváltoztatja a két csőben a tükrök távolságát.

Állandó fénysebesség mellett különböző érkezési idő

Távolságkülönbség mérése hihetetlen pontossággal  
(atommagméret/10000 !)



# LIGO + VIRGO: GW150914



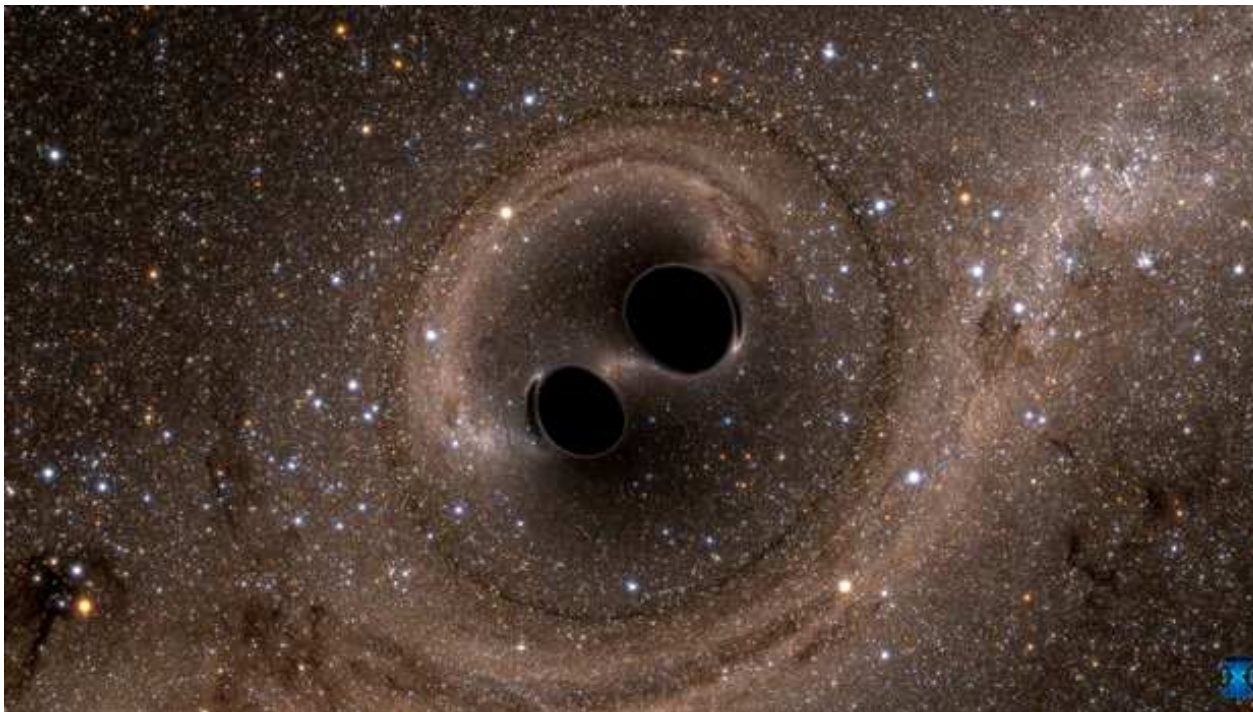
A LIGO észlelt jele (2015. szept. 14.) feketelyukas szimulációval

LIGO Scientific and Virgo Collaborations, Phys. Rev. Lett. **116** (2016) 061102

Magyar szerzők: Barta D., Bojtos P., Debreczeni G., Frei Z., Gergely L., Gondán L., Raffai P.,

Tápai M. és Vasúth M. (Eötvös E., Szegedi E. és Wigner FK)

# GW150914: az első megfigyelés



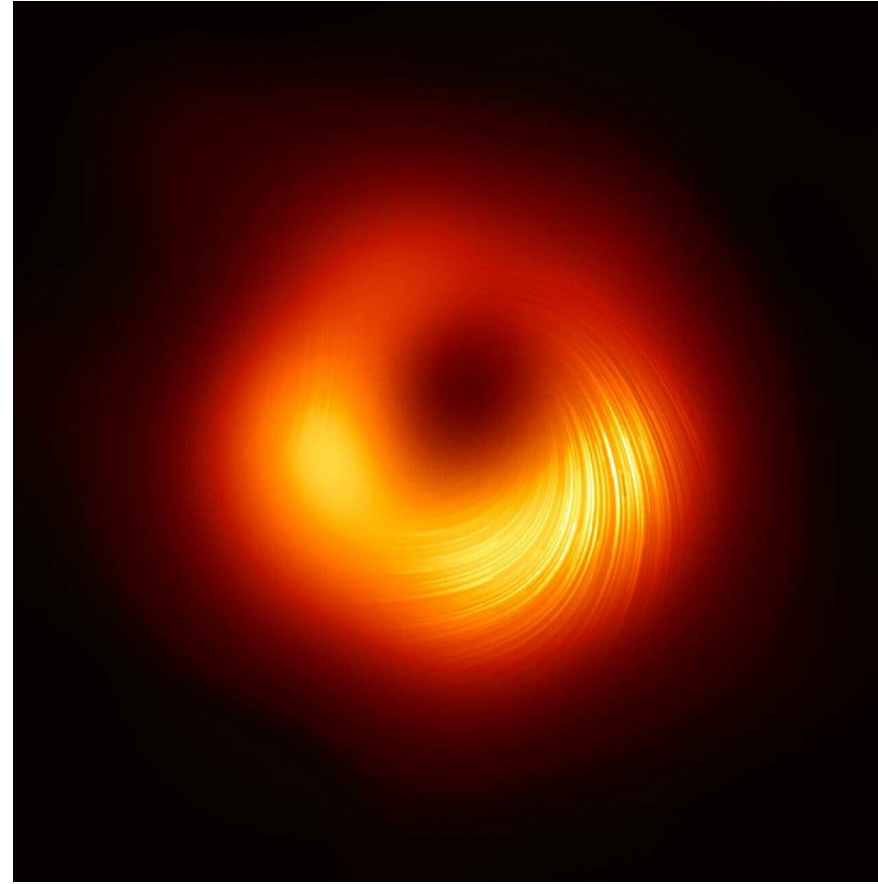
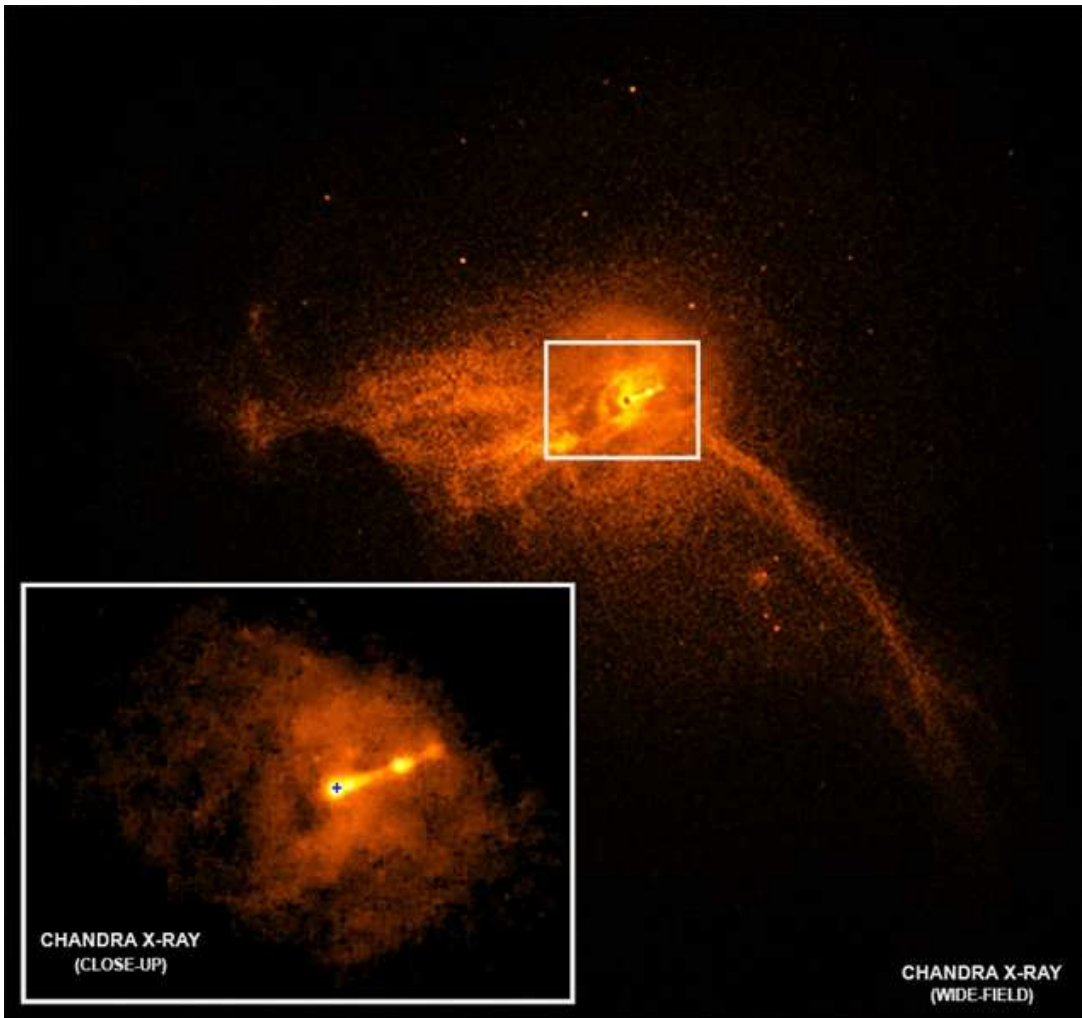
Egy nagyobb (36 naptömeg) és egy kisebb (29 naptömeg) fekete lyuk spirális keringése és összeolvadása 1,3 milliárd fényévre.

3 naptömegnyi energia távozása ( $E = mc^2$ ).

Fekete lyukak létezésének első észlelése

Két fekete lyuk összeolvadása: szimuláció

# Fekete lyuk az M87 galaxisban



Óriás (6 milliárd naptömegű,  $M_{\odot}$ ) fekete lyuk az M87 galaxis közepén,  
polarizált fénnel, mutatva a mágneses erővonalakat

# További megfigyelések

Az első megfigyelést azóta több másik is követte, 2017-ben már mindkét LIGO és a működésben lépett VIRGO egyidejű észlelésével, erősen növelve a helymeghatározás pontosságát (háromszögelés).

Jel	típus	$M_1 [M_\odot]$	$M_2 [M_\odot]$	típus	$MM [M_\odot]$	táv. [Mpc]
GW150914	BH + BH	35	30	BH	62	440
GW151226	BH + BH	14	8	BH	21	440
GW170104	BH + BH	31	19	BH	49	880
GW170814	BH + BH	31	25	BH	53	540
GW170817	NS + NS	1,5	1,3	NS/BH	2,74	40

Viszonylag kis fekete lyukak: észlelési frekvenciatartomány korlátozza.

GW170817: Két neutroncsillag összeolvadása!!!

# GW170817: áttörés a csillagászatban

**GW170817:** Két neutroncsillag összeolvadása.

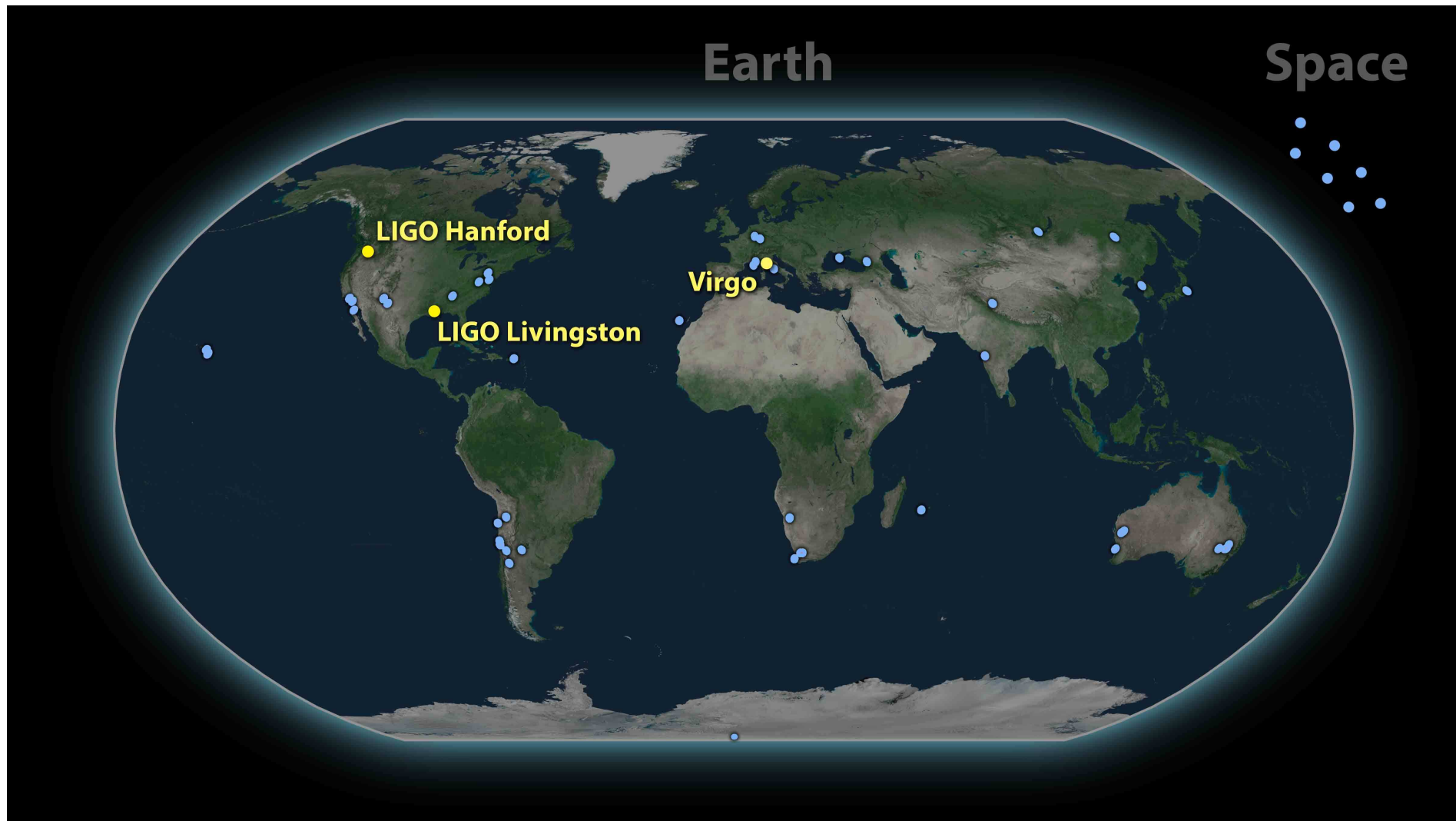
Észlelve a grav. hullám után 1,7 mp-cel gamma-kitöréssel (Fermi űrteleszkóp), 11 órával későbbtől több égi és földi teleszkóppal (rádiosugár, fény, röntgen) napokig.

Valóságos áttörés, bizonyít jó pár elméleti feltevést:

- Neutroncsillagok létezését, keletkezését szupernóva után.
- A nehéz elemek (Au, Pt, ...) kibocsátását szupernóva és neutroncsillag-robbanás közben.
- A nagyerejű gamma-kitörések eredetét.
- A gravitációs hullám fénysebességgel való terjedését.

**A kombinált többcsatornás csillagászat kezdete!**

# GW170817: megfigyelési állomások



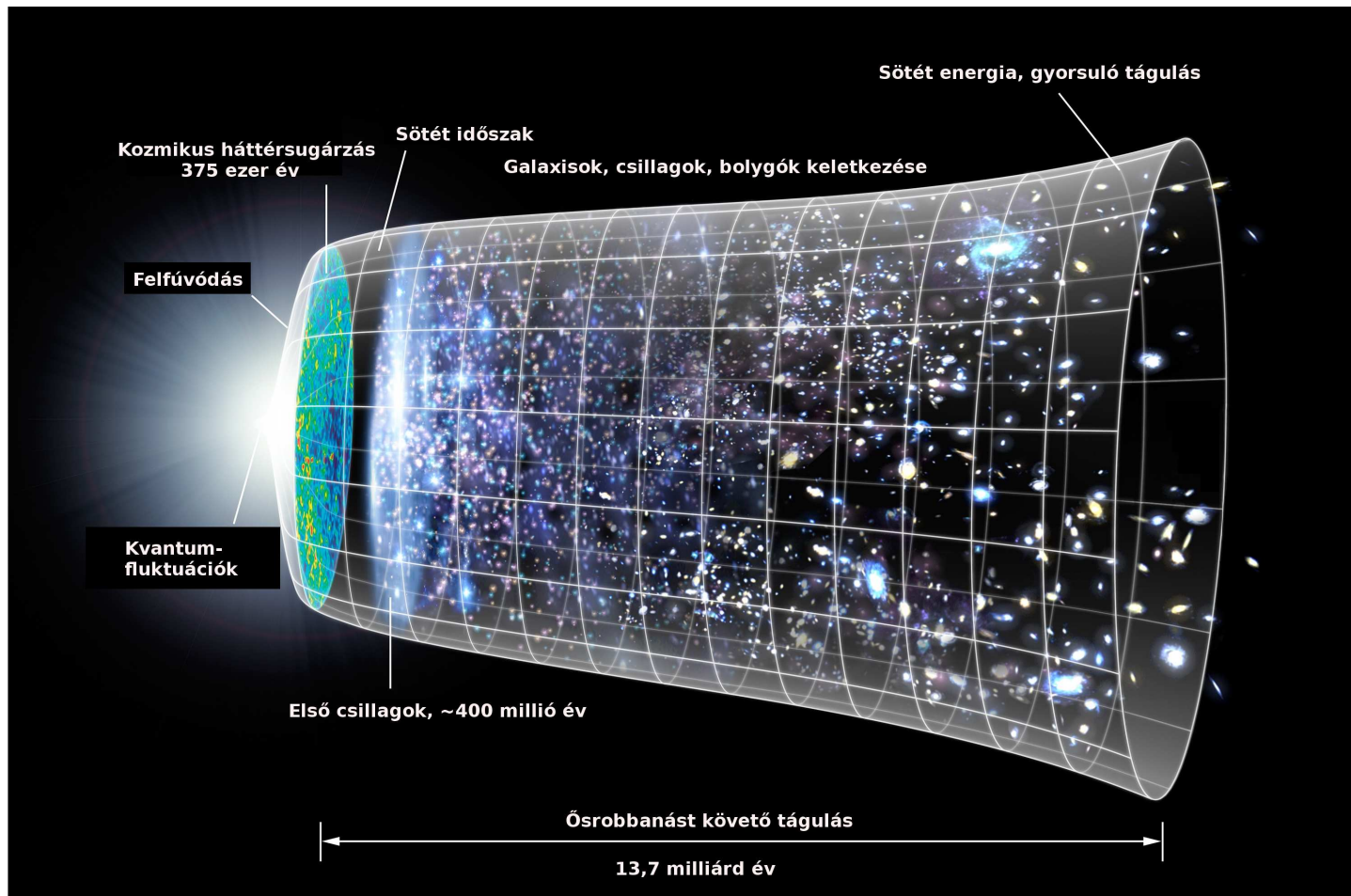
# Legkorábbi tudósítóink

⇓ Grav. hullámok (ősrobbanás, felfúvódás)

⇓ Neutrínók (atommagok kialakulása)

⇓ Koszmos háttérsugárzás (atomok kialakulása)

⇓ Csillagászati távcső (csillagok keletkezése)



# Evolúció és vallás

Ősrobbanás értelmezéséhez az evolúció a fő kérdés  
Elfogadják-e a különböző vallási irányzatok?  
Amerikai webes vitafórumok alapján.

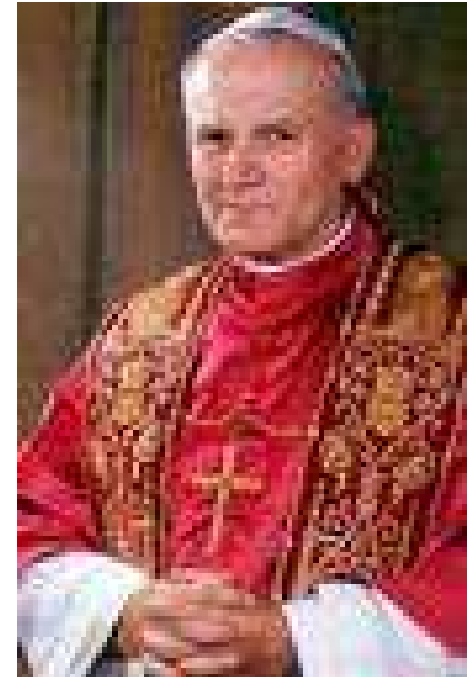
- Római katolikus: igen
- Görög-keleti ortodox: igen
- **Amerikai (!) református: nemigen**
- Evangélikus: igen
- Judaizmus: igen
- Iszlám: igen
- Hinduizmus: igen
- Sinto: igen



# 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](http://www.newadvent.org/library/docs_jp02tc.htm)

# 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

Egy 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.*

# 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*
- VII. fejezet: *Semmiből lett az őanyag, az őanyagból az egész világ.*
- IX. fejezet: *Sem a mennyország, sem az őanyag megteremtése nem időben történt.*

# 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!*

# Magyar reformátusok

A hazai reformátusok teljesen nyitottak a fizika felé  
(az amerikaiakkal ellentétben)

Dr Végh László: Az ősrobbanás elméletéről

*Einstein általános relativitáselmélete szerint a táguló világegyetemhez szükségszerűen egy kezdeti rendkívül kicsiny, csaknem pontszerűnek vehető állapot tartozik. Ennyiből lett a mai világegyetem, amely azóta is tágul. Ez a kép az ősrobbanás modelljének alapja. A legújabb adatok szerint a világegyetem életkora 13,8 millárd év.*

(Református Közéleti és Kulturális Központ,  
<https://reformatus.hu/lap/rkkk/mutat/8442/>)

Budapesti diáktól hallottam, hogy református hittanórán tanították az ősrobbanást, mint teremtést.



# Teológia és fizika

A vallások nagyrészt elfogadják az ősrobbanást teremtésnek

Ez ki is következethet 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.

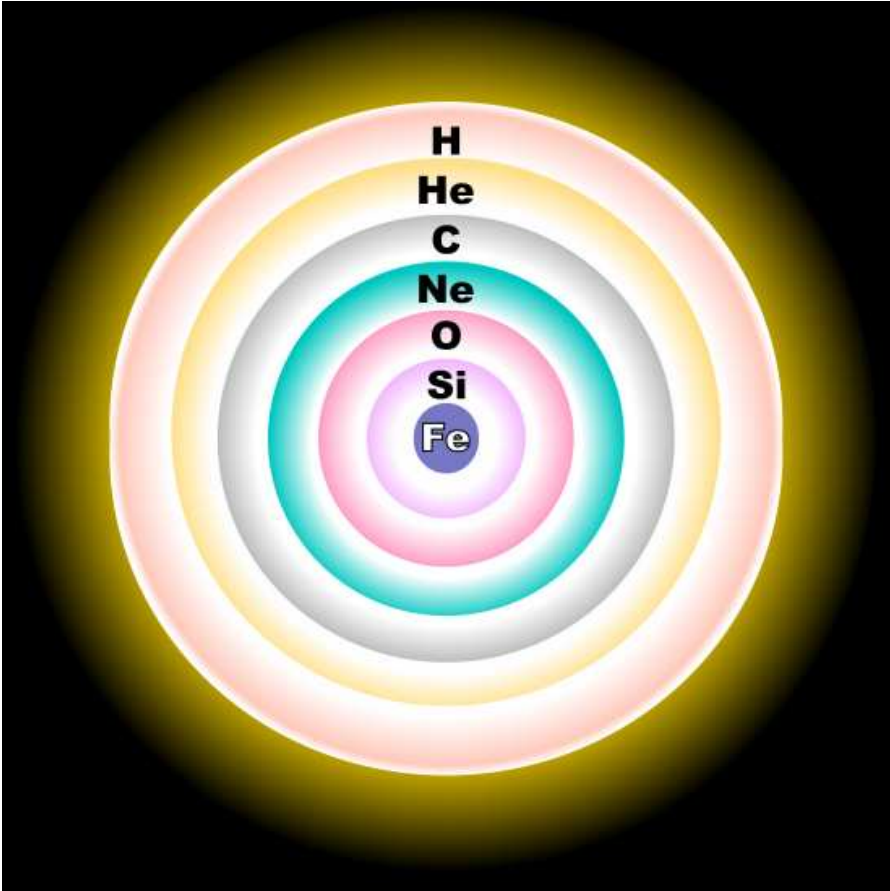
# Olvasnivaló

- <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*
- Szent Ágoston vallomásai (Dr. Vass József fordítása)  
<http://mek.oszk.hu/04100/04187/04187.htm>
- HD: Fizikai Szemle, 2010 augusztus  
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz100708/horvath100708.html>

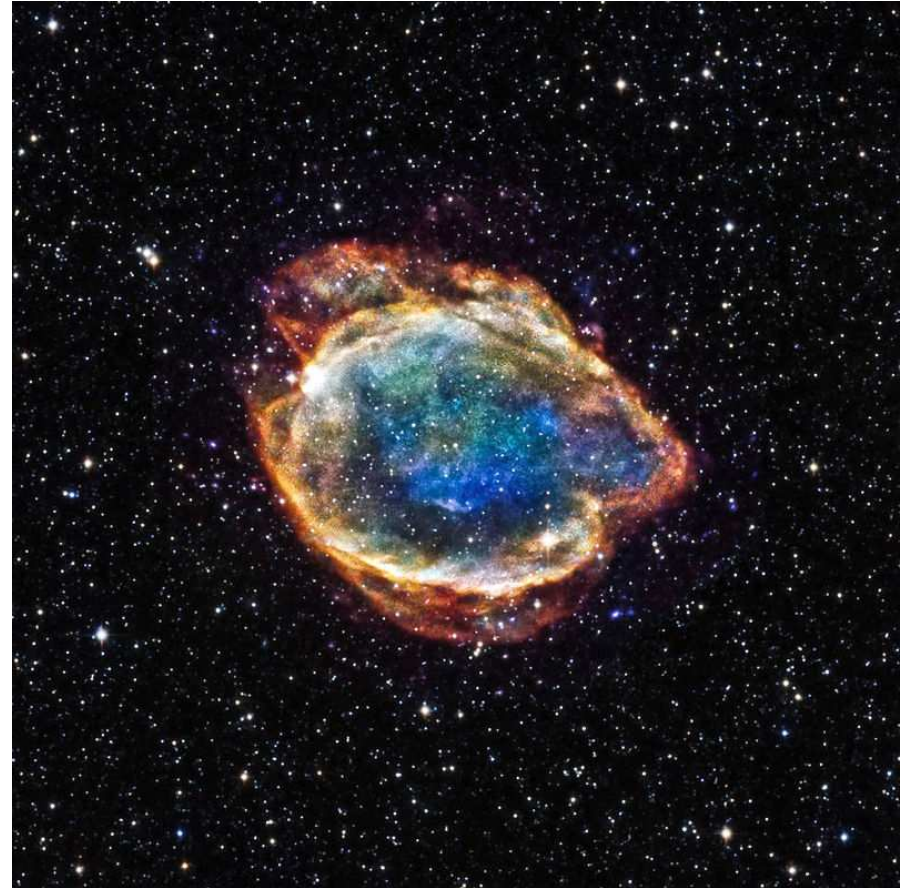
# Köszönöm a figyelmet

# Tartalékdiák

# Csillagok fejlődése és halála



A csillagfejlődés rétegei  
(nem méretarányos!)



Szupernóva (i.e. 2500, 16000 fényév)  
maradványa többféle spektroszkópiával

# Szupernóvák

Szupernóva = csillaghalál

Oka: Hidrogén elfogy, gravitációs összeomlás  
vagy egyesülés külső anyaggal és fúzió felgyorsulása

⇒ Robbanás, elemek szétszóródása

Csillagporból vagyunk!

Marad fekete lyuk vagy neutroncsillag

Megfigyelés: évente több száz (2007: 572)

## SN 1987A

Nagy Magellán-felhőben, 168000 fényévre

Neutrínóészlelés 1987 febr. 23., 7h 35'

~  $10^{58}$   $\nu$ , fele első 1–2 s, többi 10–100 s alatt

Neutroncsillag kötési energiája: 99% neutrínóban távozik

10h40': Fényjel fényképen megjelenik

Világított 1988 szeptemberéig



SN1987A a Tarantula-köd szélén

# 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



# Planck űrszonda, 2015

Barionok akusztikus oszcillációja (BAO)

kiválóan leírható az LCDM-modellel

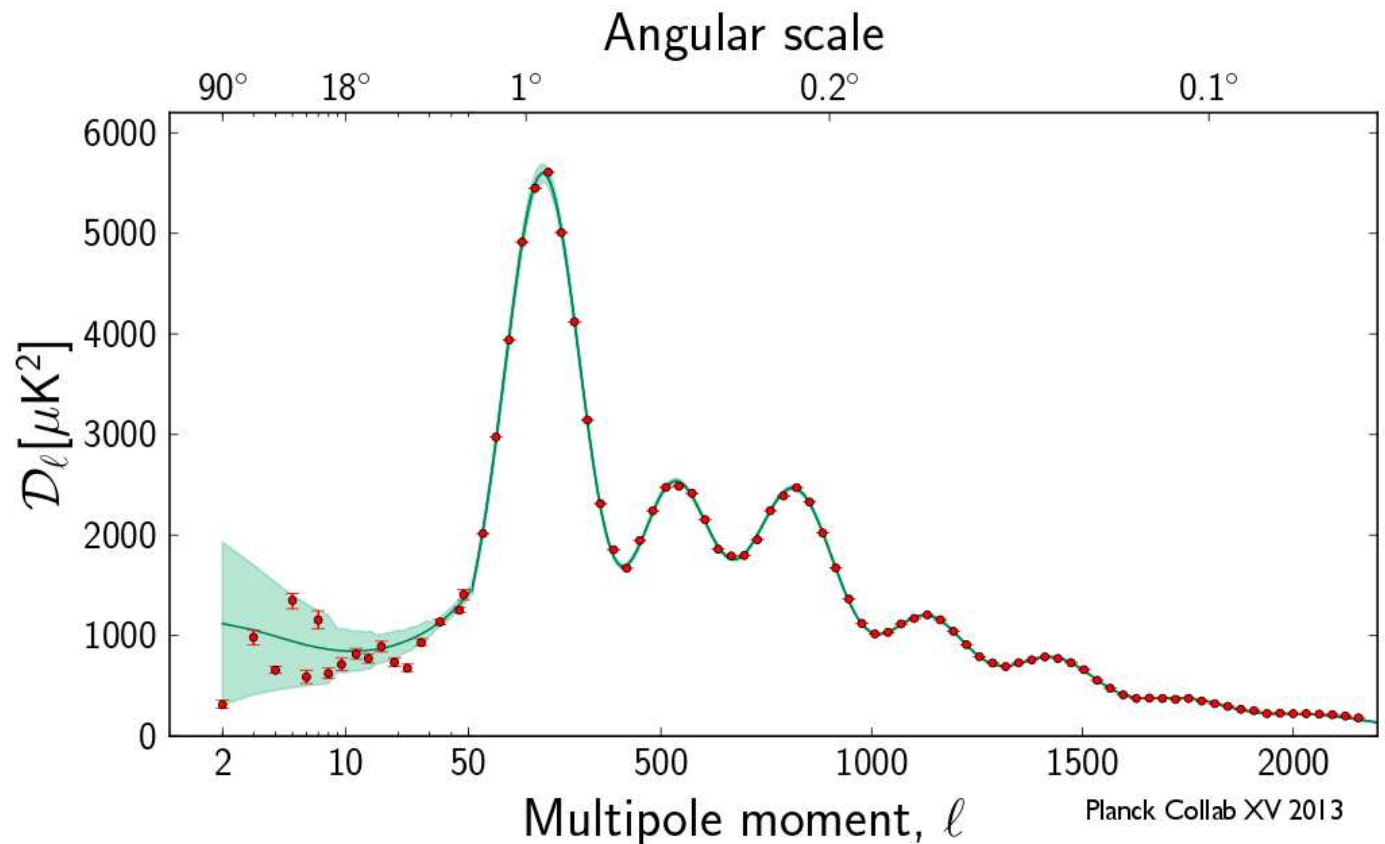
(Lambda Cold Dark Matter modell, 6 szabad paraméterrel)

Akusztikus  
spektrum:

korai univerzum  
rezgési módusai

Csúcsok helye:  
sötét anyag nem  
barionos

Lapos univerzum,  
 $\Lambda \neq 0$



# Távolságskála görbült téridőben

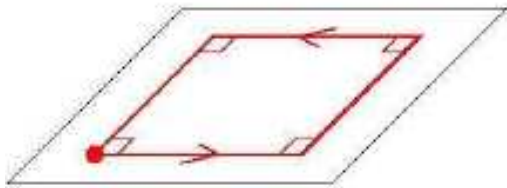
Együttmozgó koordináták:  $(t, r, \Theta, \Phi)$

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

Görbült térben:

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

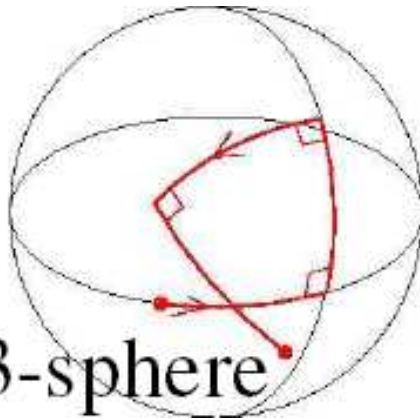
$a(t)$ : 2D téridő-görbület  $k$ : 3D térgörbület



3-plane

$$k = 0$$

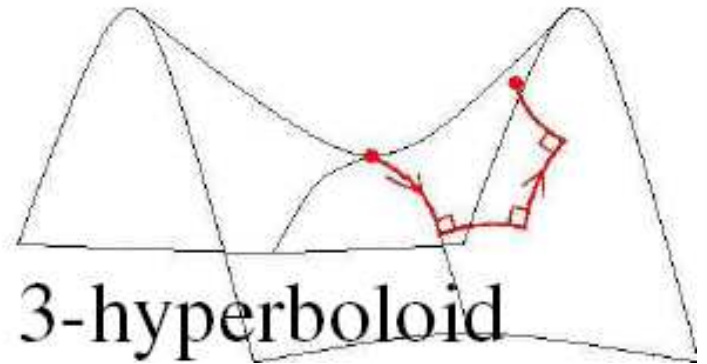
lapos univerzum



3-sphere

$$k > 0$$

zárt univerzum



3-hyperboloid

$$k < 0$$

nyílt univerzum

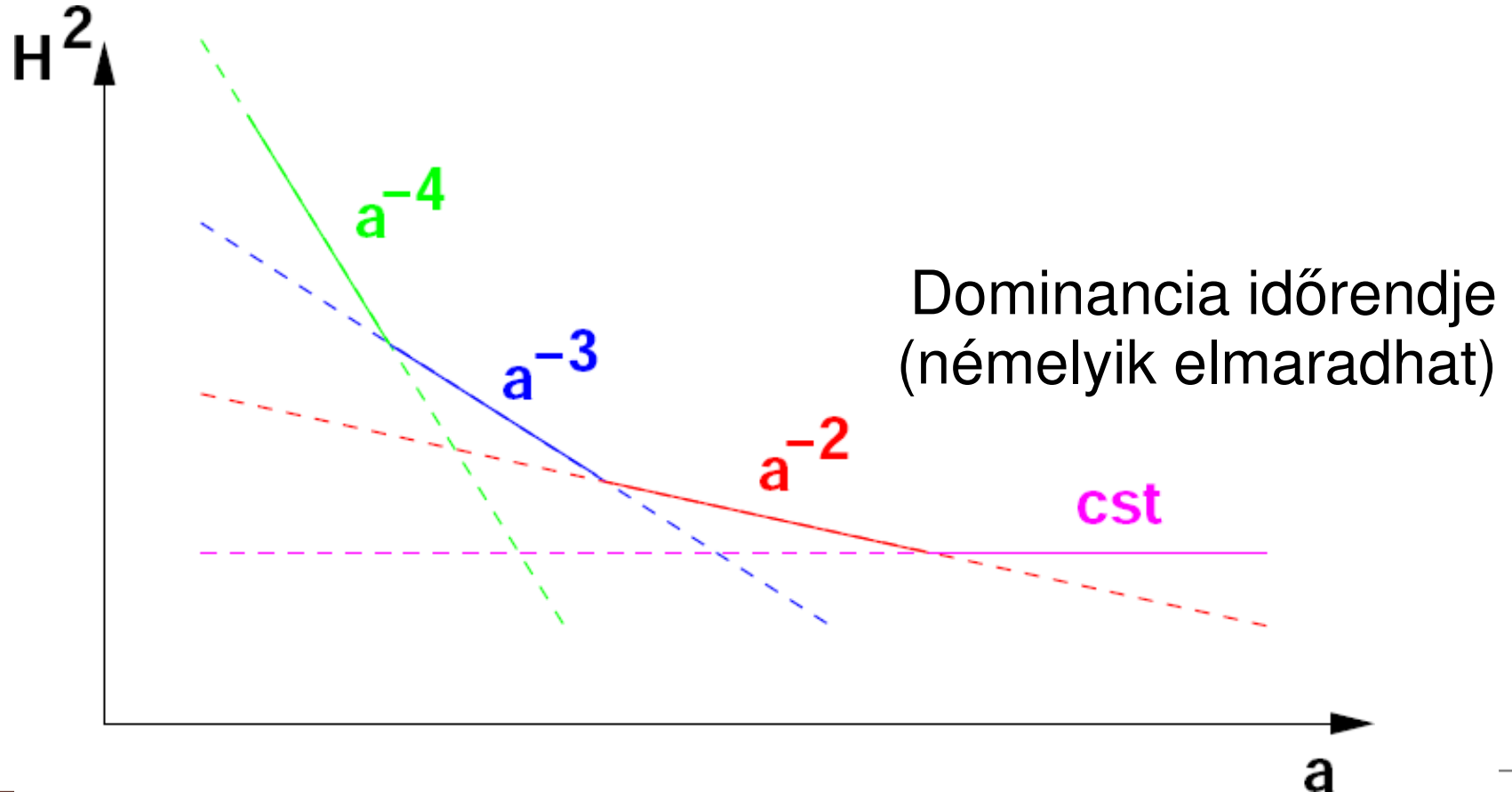
Galaxisok távolsága  $\sim a(t) \Rightarrow$  tágulás

# A Friedmann-törvény

Skála-  
tényező  
változása:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 \equiv H^2 = \frac{8\pi\mathcal{G}}{3c^2}\rho_R + \frac{8\pi\mathcal{G}}{3c^2}\rho_M - \frac{kc^2}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

$\sim a^{-4}$                        $\sim a^{-3}$                        $\sim a^{-2}$                        $\sim a^0$   
 Sugárzás                      anyag                      görbület                      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  $\Omega_\Lambda \sim 70\%$

# BICEP2, 2014 március 17.

## Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization

Déli sarkon

Kozmikus háttérsugárzás hőmérséklete:

kezdeti sűrűség-ingadozás

COBE  $\Rightarrow$  WMAP  $\Rightarrow$  Planck

polarizációja:

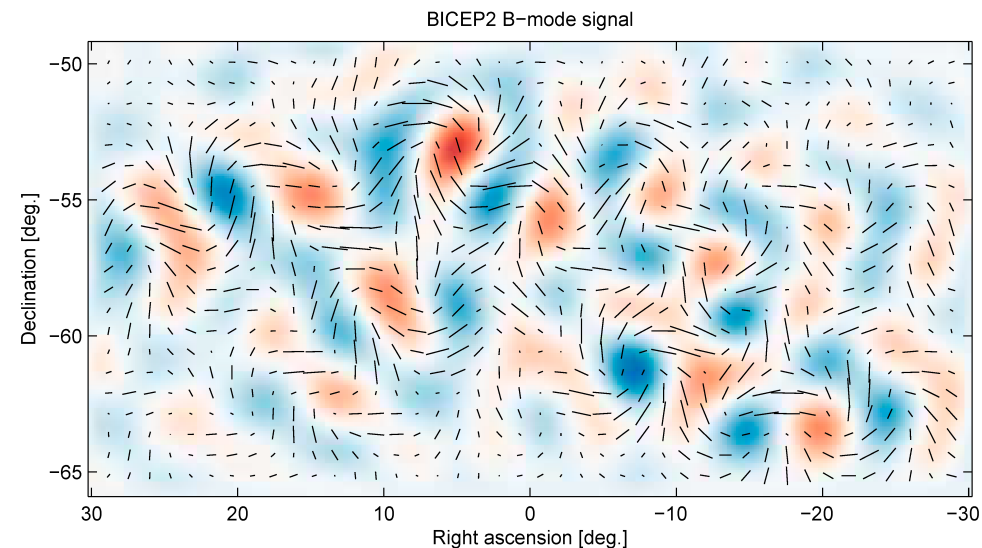
kezdeti gravitációs hullámok

(Planck kísérlet: portól lehet)

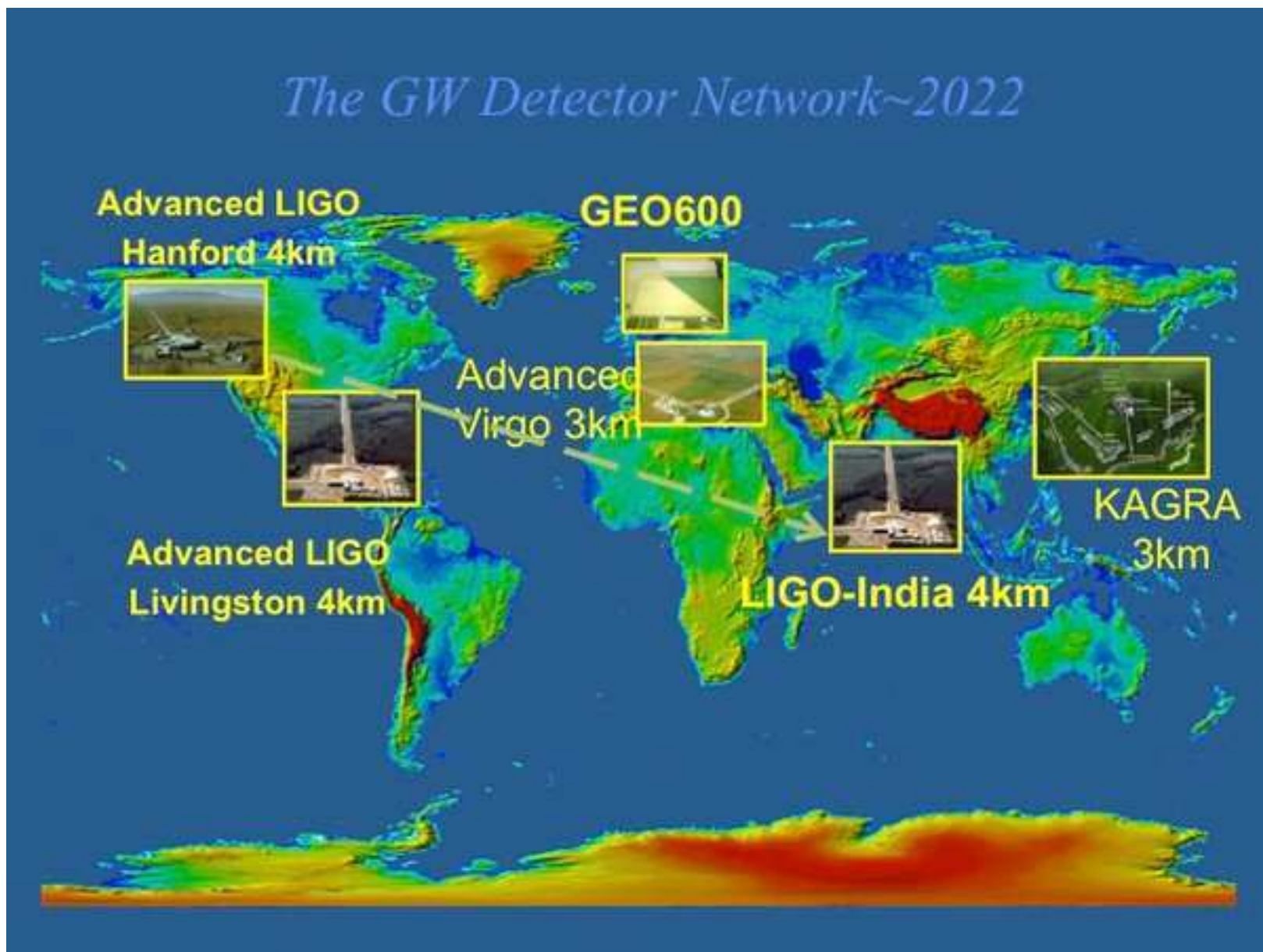
Polarizáció eloszlása égbolt egy

darabján:

óramutatóval, ellentétesen tekerő



# GW-megfigyelési állomások, 2022

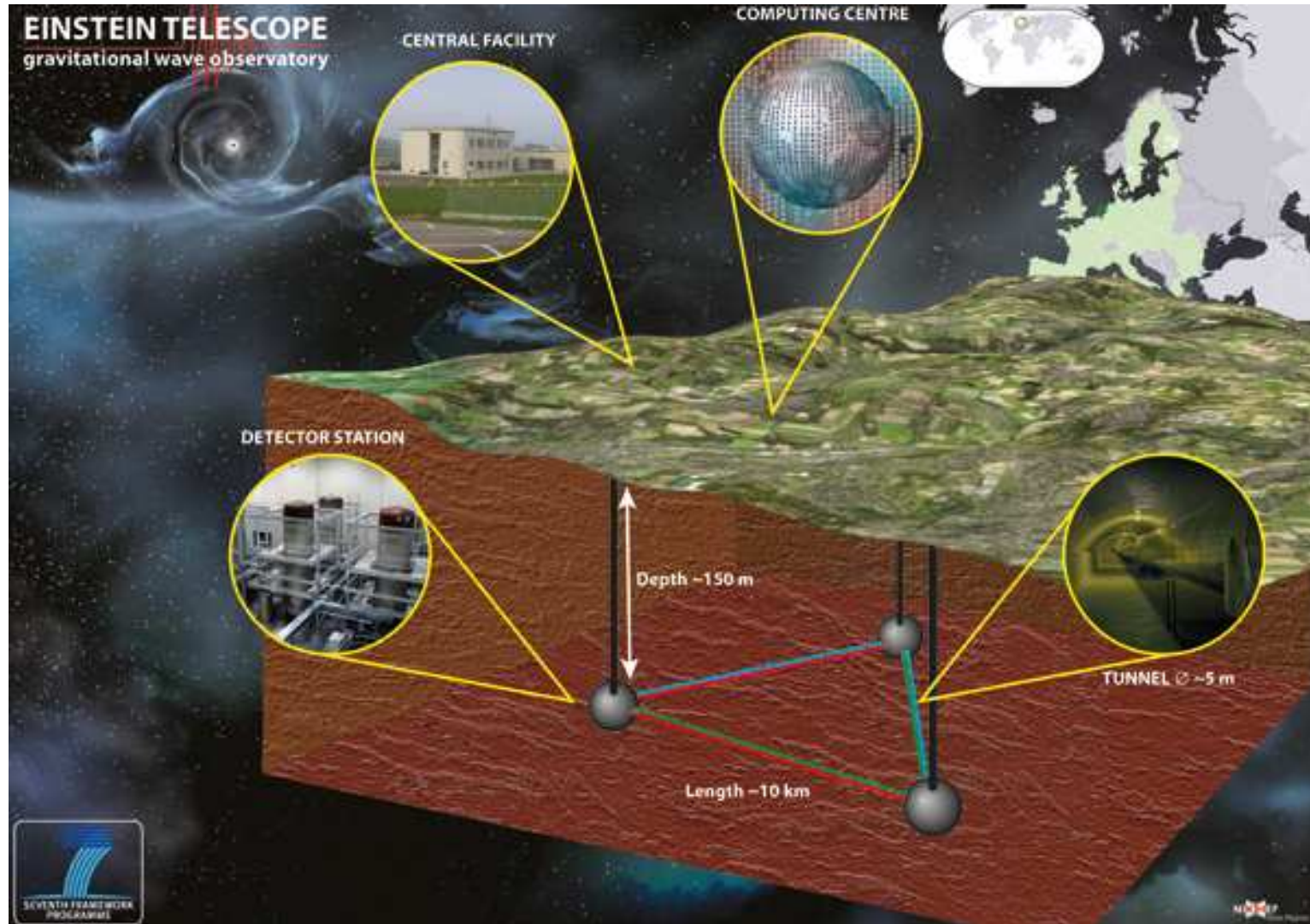


# James Webb űrteleszkóp (JWST)



A Jupiter viharai és 5 galaxis tánca (NASA)

# Einstein-teleszkóp: terv

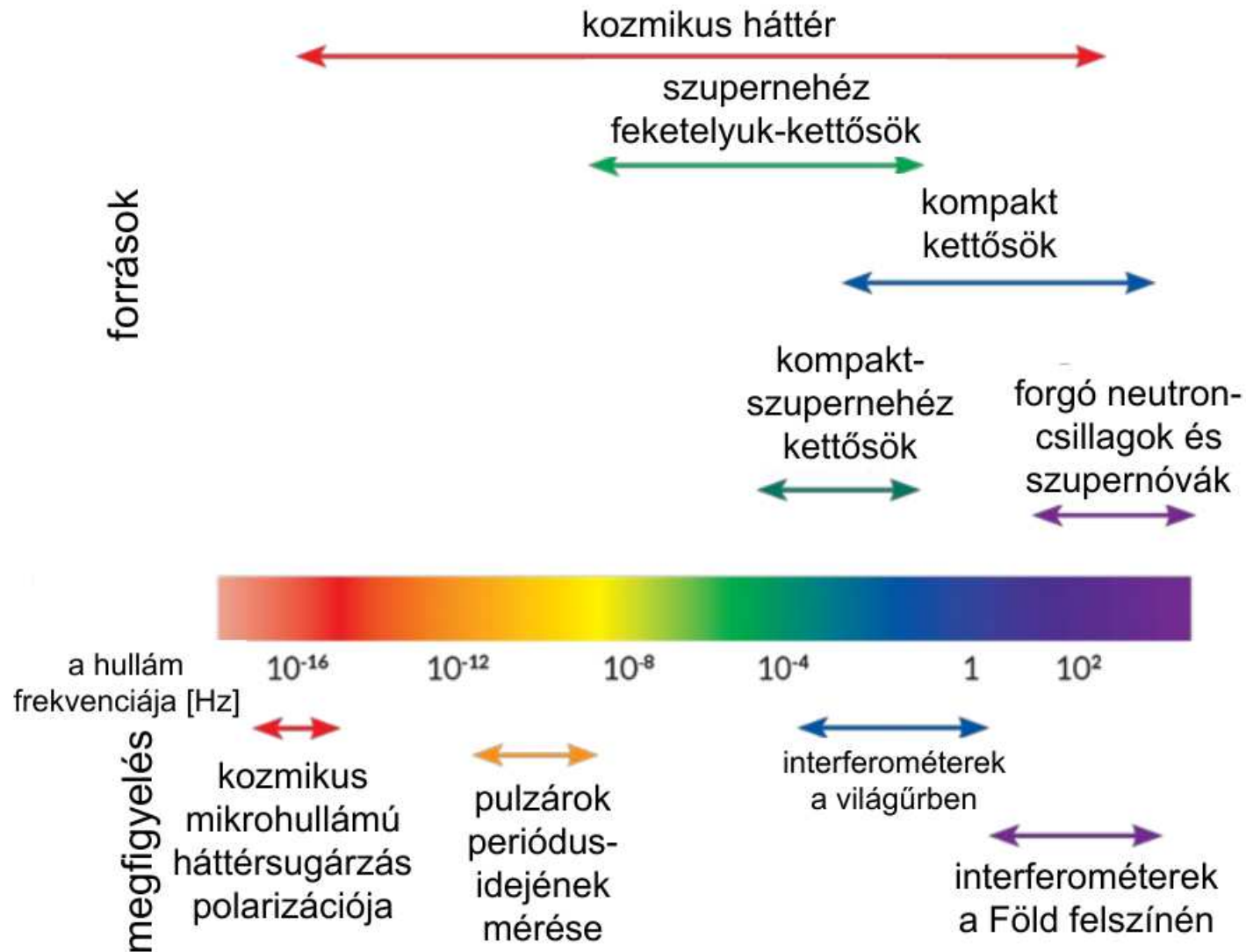


Hely: BE-NL-DE határ, Szardinia (VIRGO, Mátra nem nyert)



# GW170817: forrás-meghatározás

## Gravitációs hullámok forrásai és megfigyelési módjai



# Az elemek keletkezése

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba			72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra																	
				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U											

összeolvadó neutroncsillagok
felrobbanó nagy tömegű csillagok
ősrobbanás  
kis tömegű csillagok
felrobbanó fehér törpék
hasadás kozmikus sugárzásban

# 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.html>:

Question 12.3: Does modern science (e.g., "big bang" theory, evolution, the age of the world) contradict traditional readings of the Torah?

*There are some Orthodox Jews who believe that Creation occurred over 5700 years ago and that it took precisely six days. However, today many Orthodox Jews believe that it is an open question as to how long each of those "days" and "years" were, relative to today's time intervals (considering that time itself is one of G-d's creations).*

*The liberal Jewish movements who do not hold the text of the Torah as a purely factual account don't need to reconcile it with science.*

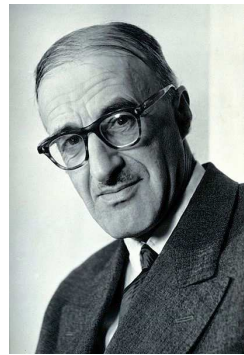
A judaizmusban hagyomány nem szó szerint értelmezni a  
Genezist

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



Mose ben  
Maimon

1138 – 1204

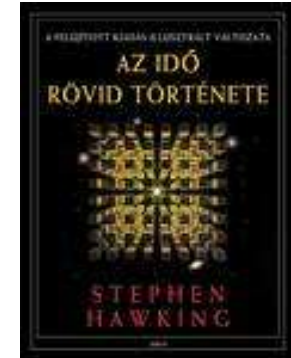
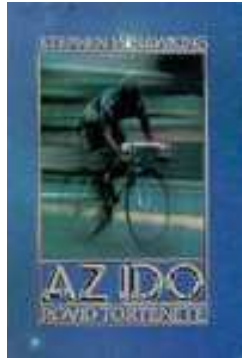
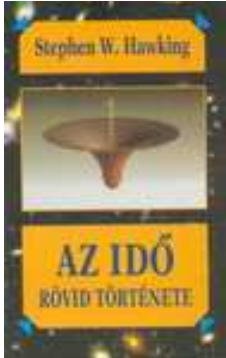


Yeshayahu  
Leibowitz

1903 – 1994

# II. János Pál és Stephen Hawking

Stephen W. Hawking, miután beszélt II. János Pállal, aki azt tanácsolta, ne feszegessék 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...