

2. rész

Kozmológia a 21. században

A táguló Világegyetem

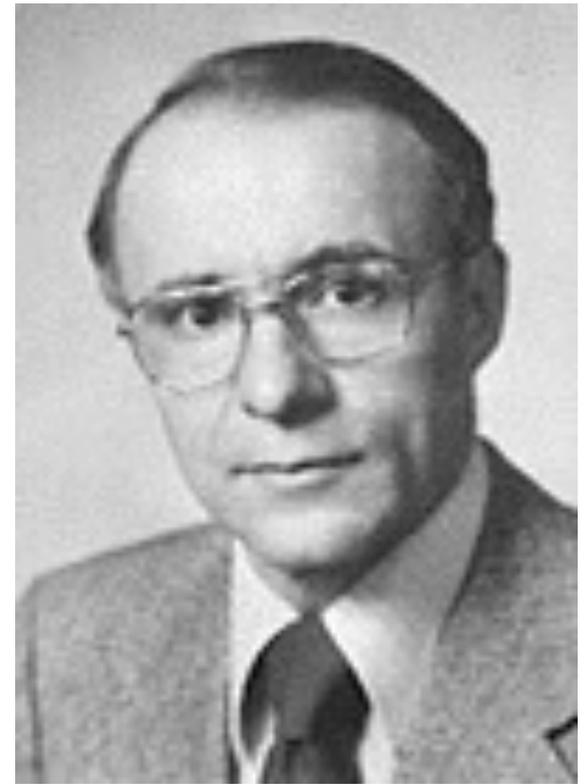
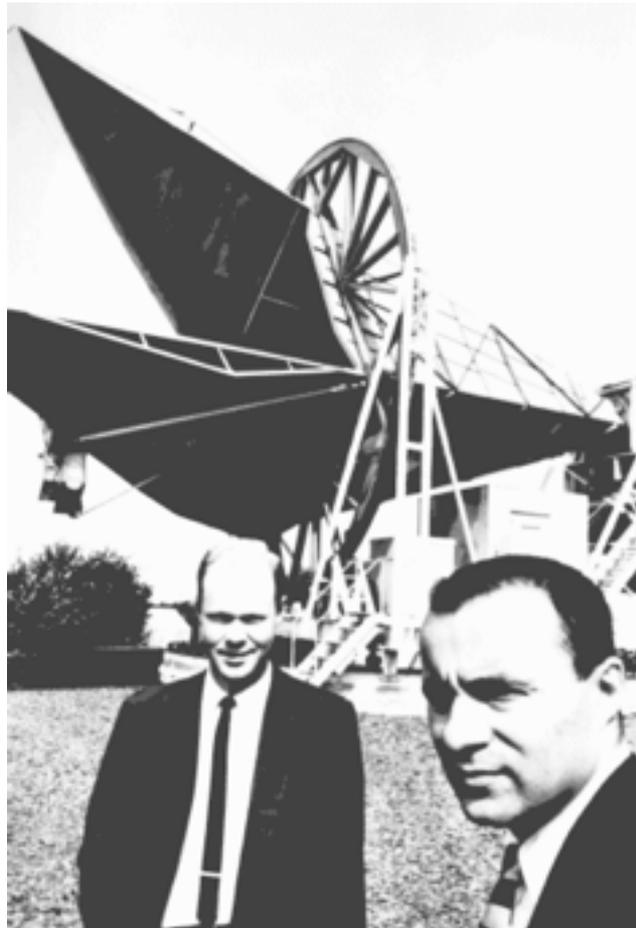
Ha a Világegyetem valóban tágul, akkor régen „kisebb”, ezért melegebb volt

- A hőmérséklet a mérettel fordítottan arányos
 - ⇒ az elegendően forró VE-t elektromágneses plazma töltötte ki, amelynek hűlése során kialakultak az atomok és a mindent kitöltő

kozmikus elektromágneses háttérsugárzás

A kozmikus sugárzás felfedezése

- 1965: A. Penzias és R. Wilson (Bell Lab) érzékeny mikrohullámú antennája



A kozmikus sugárzás

- 1965: A. Penzias és R. Wilson érzékeny mikrohullámú antennája

- iránytől

- napszaktól, évszaktól

- független elektromágneses sugárzást észleltek

- Az antenna hibáját kizárták

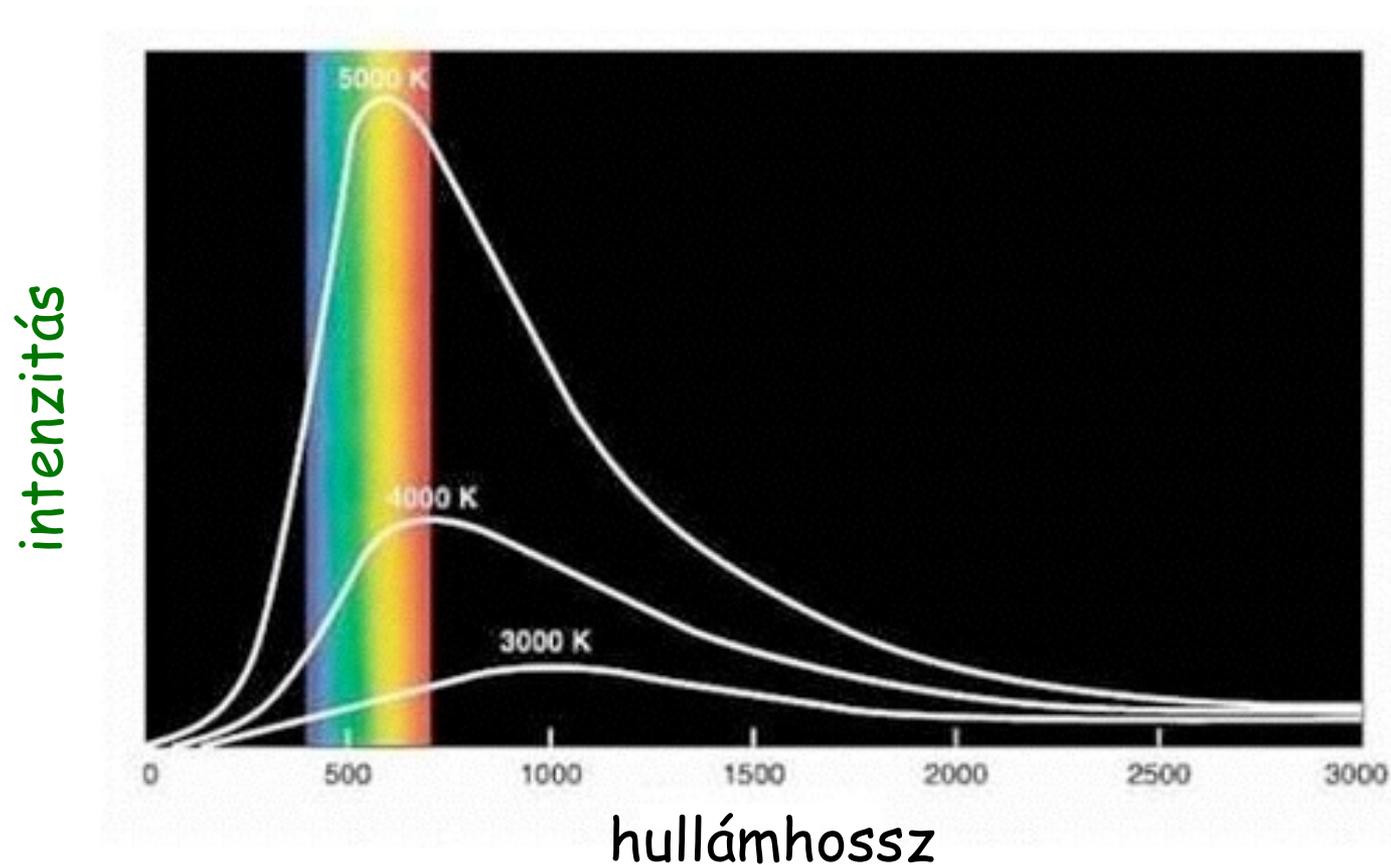
Mi lehet a titokzatos sugárzás forrása?

- Mi már sejtjük:

A VE-t az első perceiben elektromágneses sugárzás töltötte ki, ami azóta is ott van, csak hullámhossza a tágulás arányában megnőtt

Penzias és Wilson mérése szerint a sugárzás hőmérséklete 3,5 K (11. kérdés: Mit jelent ez?)

A hőmérsékleti sugárzás intenzitásának hullámhosszfüggése



~10cm alatt a légkör átlátszatlan ⇒

Földről csak az eloszlás maximumától jobbra eső rész mérhető

Irány a világűr: A Cosmic Background Explorer űrszonda

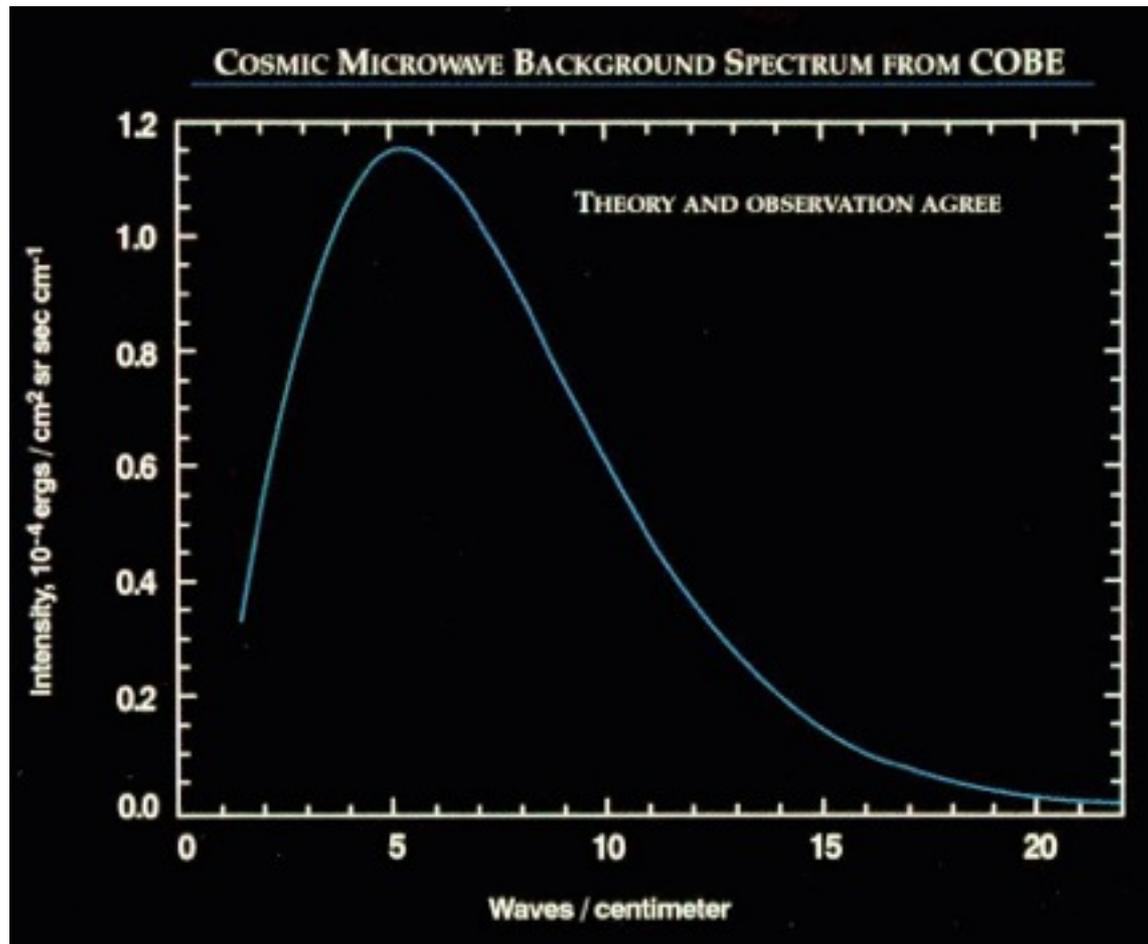


FIRAS = Far Infrared Absolute Spectrophotometer

DMR = Differential Microwave Radiometer

DIRBE = Diffuse Infrared Background Experiment

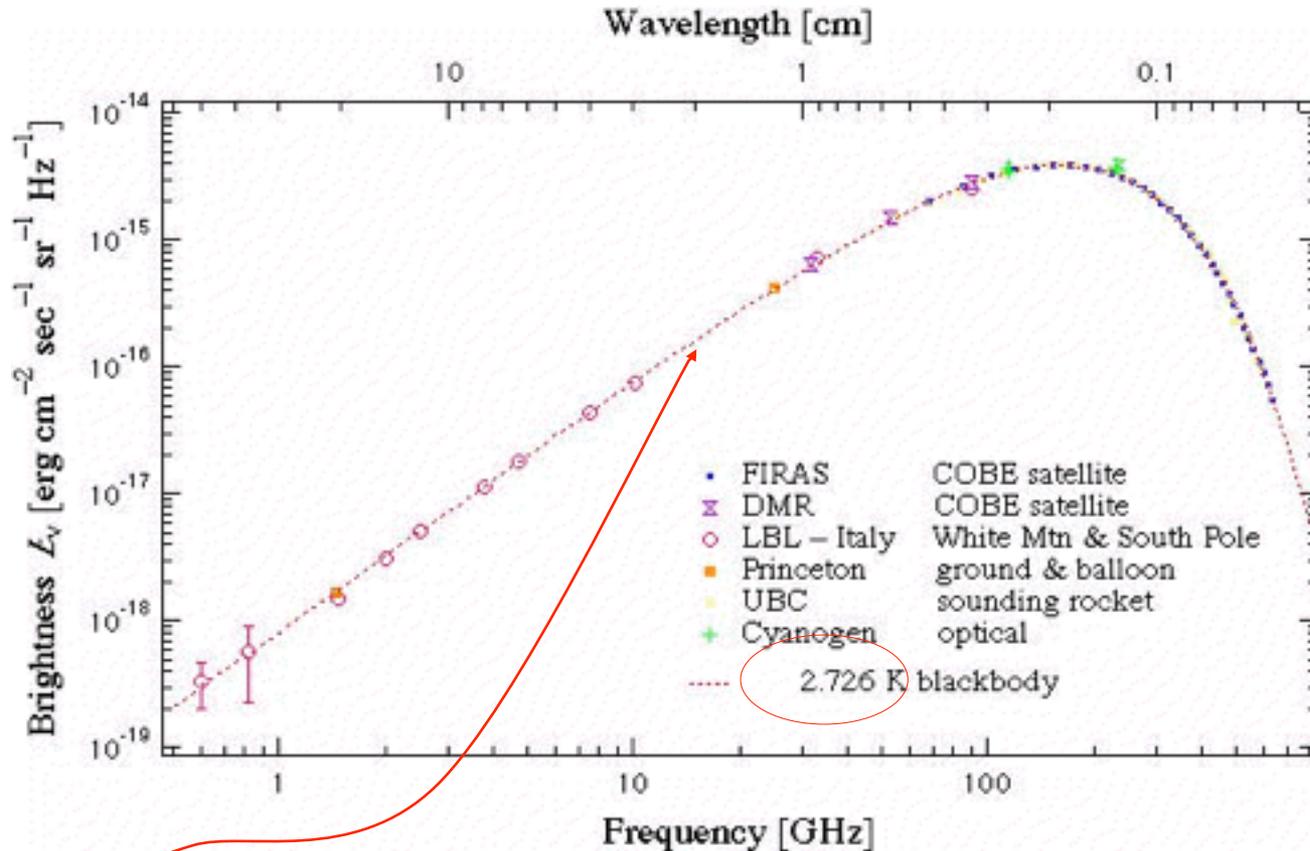
A FIRAS spektrum



Valaha látott legtökéletesebb hőmérsékleti sugárzási spektrum

A CoBE által mért sugárzási görbe hullámhossz

sugárzás intenzitása



Planck-görbe

frekvencia

A FIRAS spektrum

A hőmérsékleti sugárzás spektrumát a Planck-féle eloszlás írja le

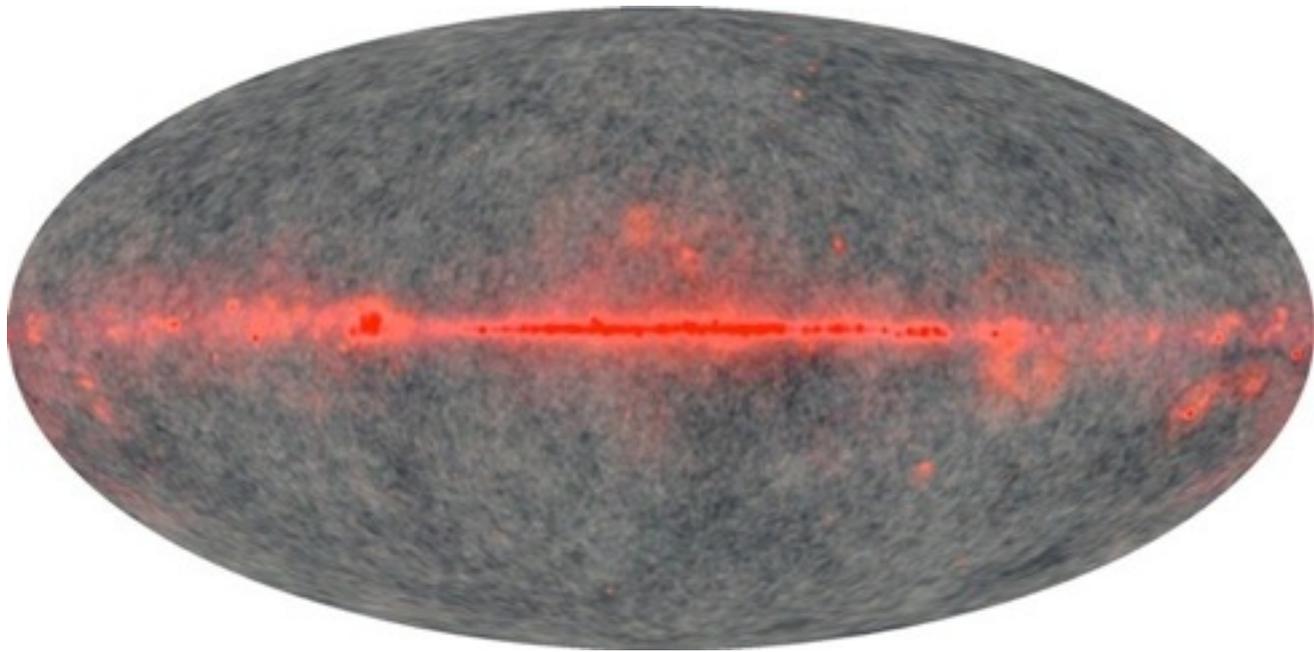
$$d\varepsilon(f, T) = 8\pi \frac{(kT)^4}{(hc)^3} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} \quad x = \frac{hf}{kT}$$

$$\varepsilon_\gamma(T) = \int_0^\infty d\varepsilon(f, T) = cT^4 \text{ Stefan-Boltzmann}$$

$$n_\gamma(T) = \int_0^\infty \frac{d\varepsilon(f, T)}{hf} = 8\pi \frac{(kT)^3}{(hc)^3} \int_0^\infty \frac{x^2 dx}{e^x - 1} =$$

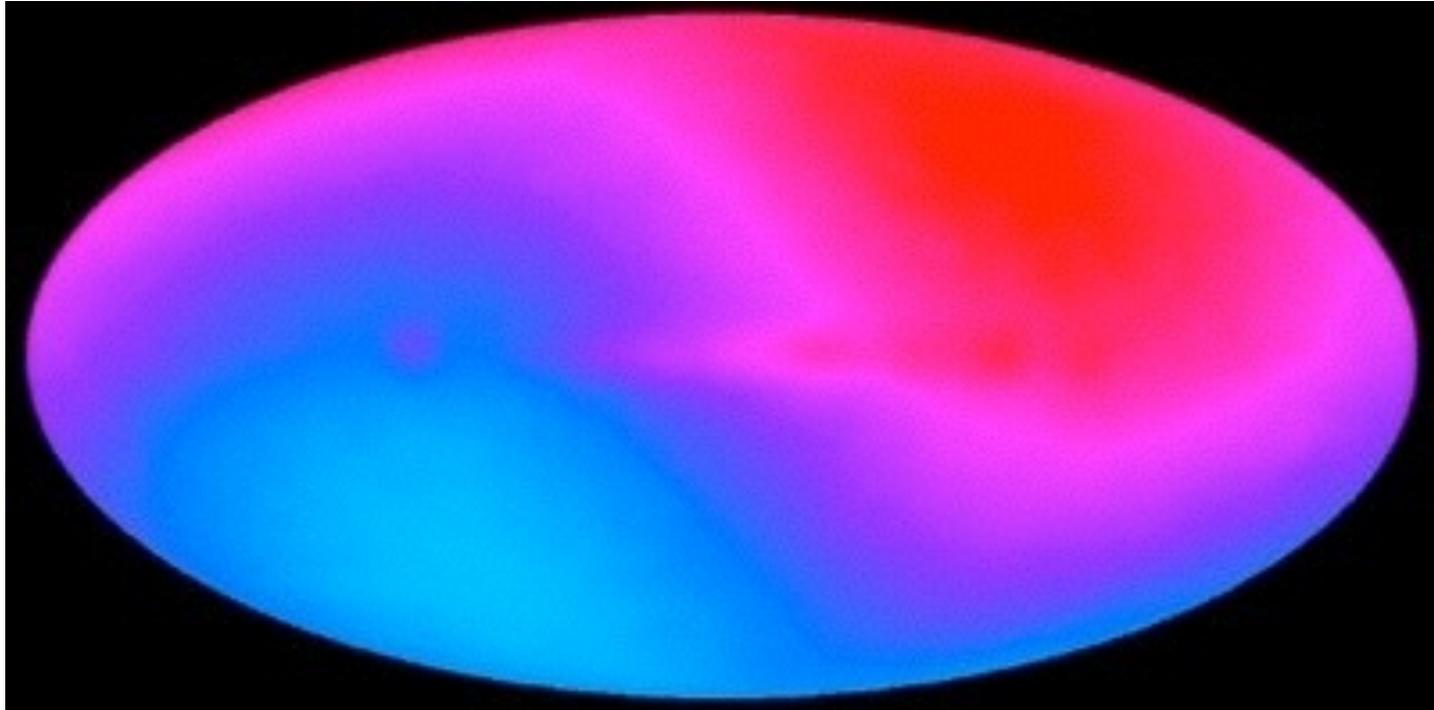
12. kérdés: Mekkora a nukleáris részecske/foton arány?

Izotrópnek látta-e a COBE VE-t?



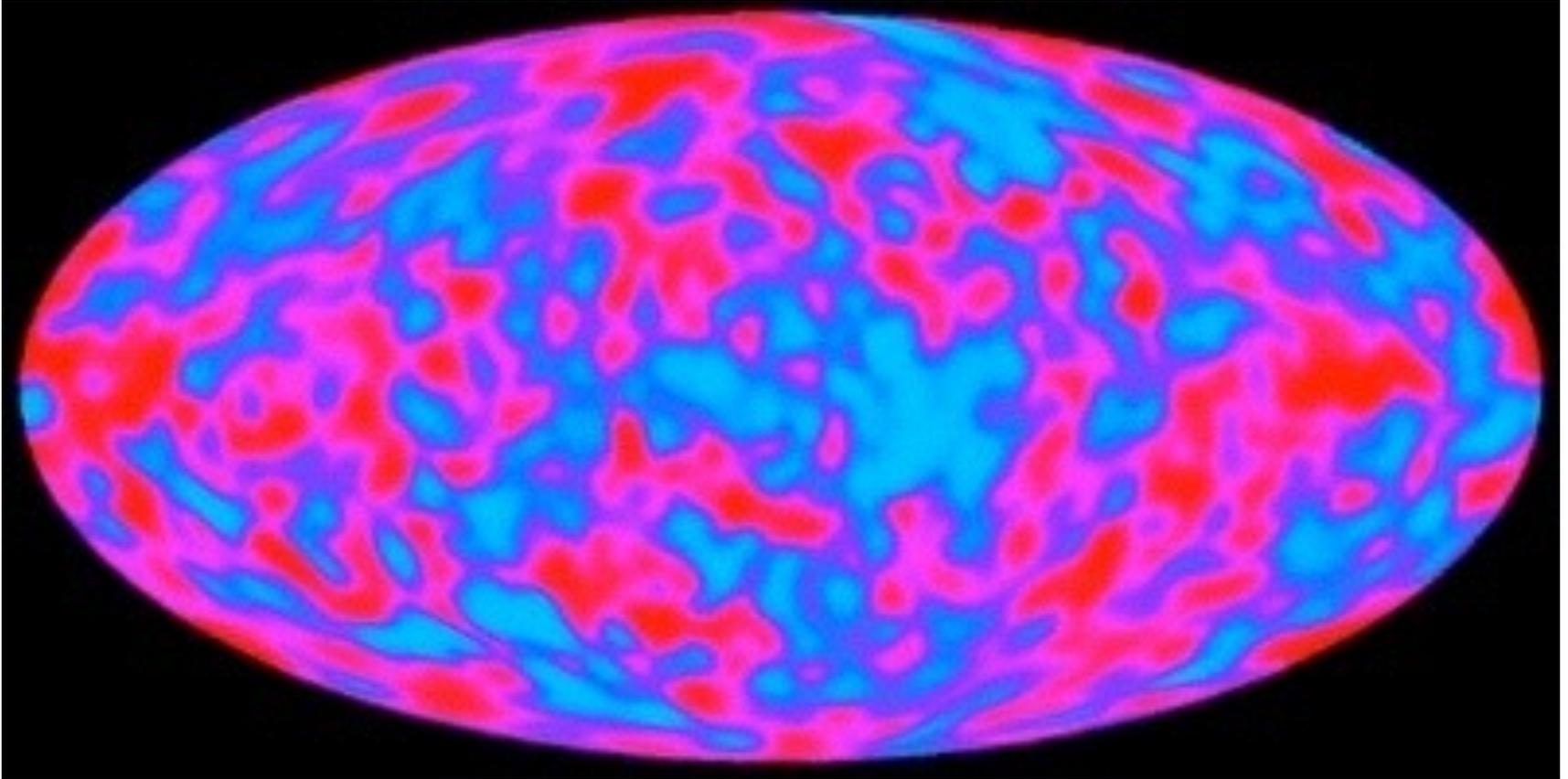
A Tejút hatását le kell vonni

Izotrópna láta-e a COBE VE-t?



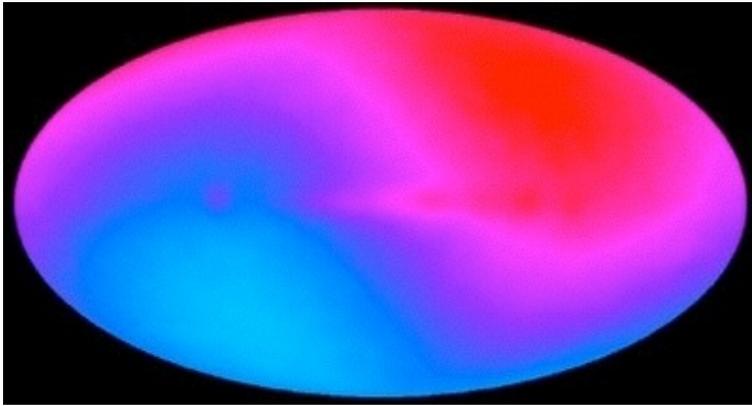
A dipólus anizotrópia a Föld mozgásának
következménye (szintén le kell vonni)

A COBE felfedezése

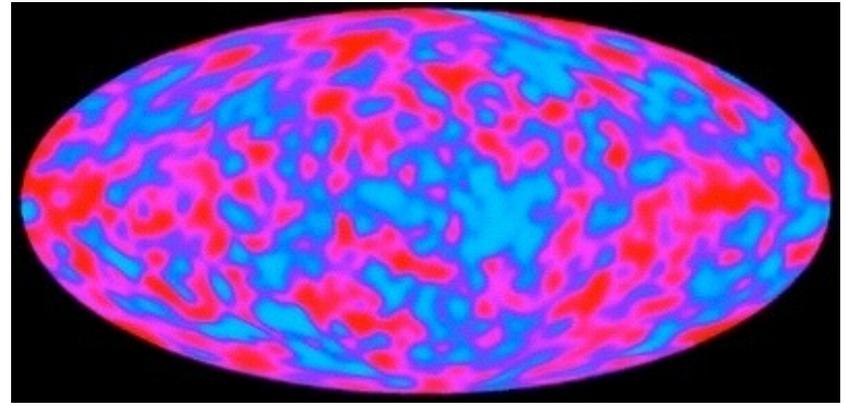


A piros és kék tartományok hőmérséklet különbsége 10^{-5}K
(0,01mm-es hullámok az uszodában)

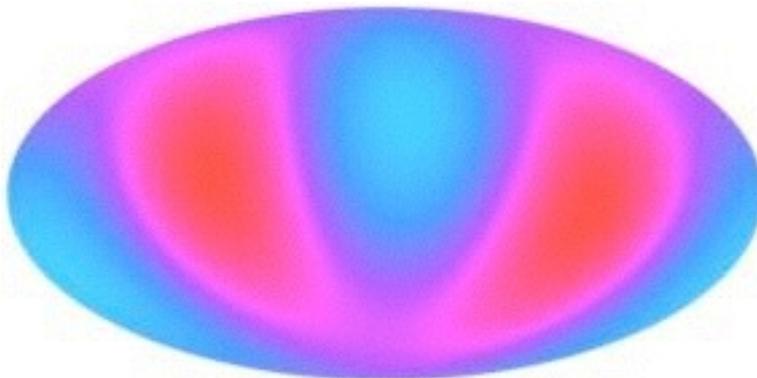
Multipólus sorfejtés



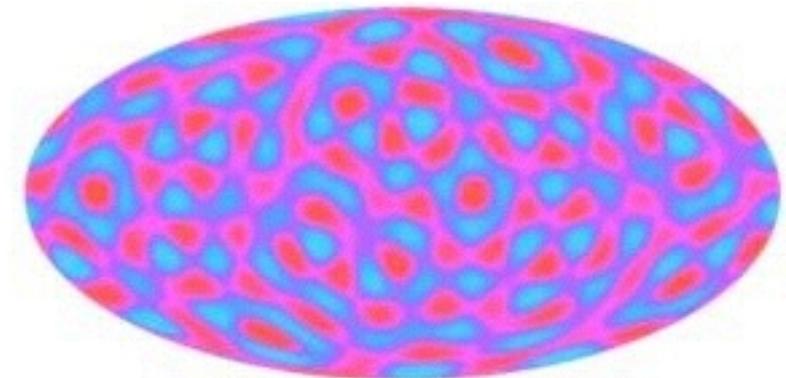
$l=1$



Σl



$l=2$



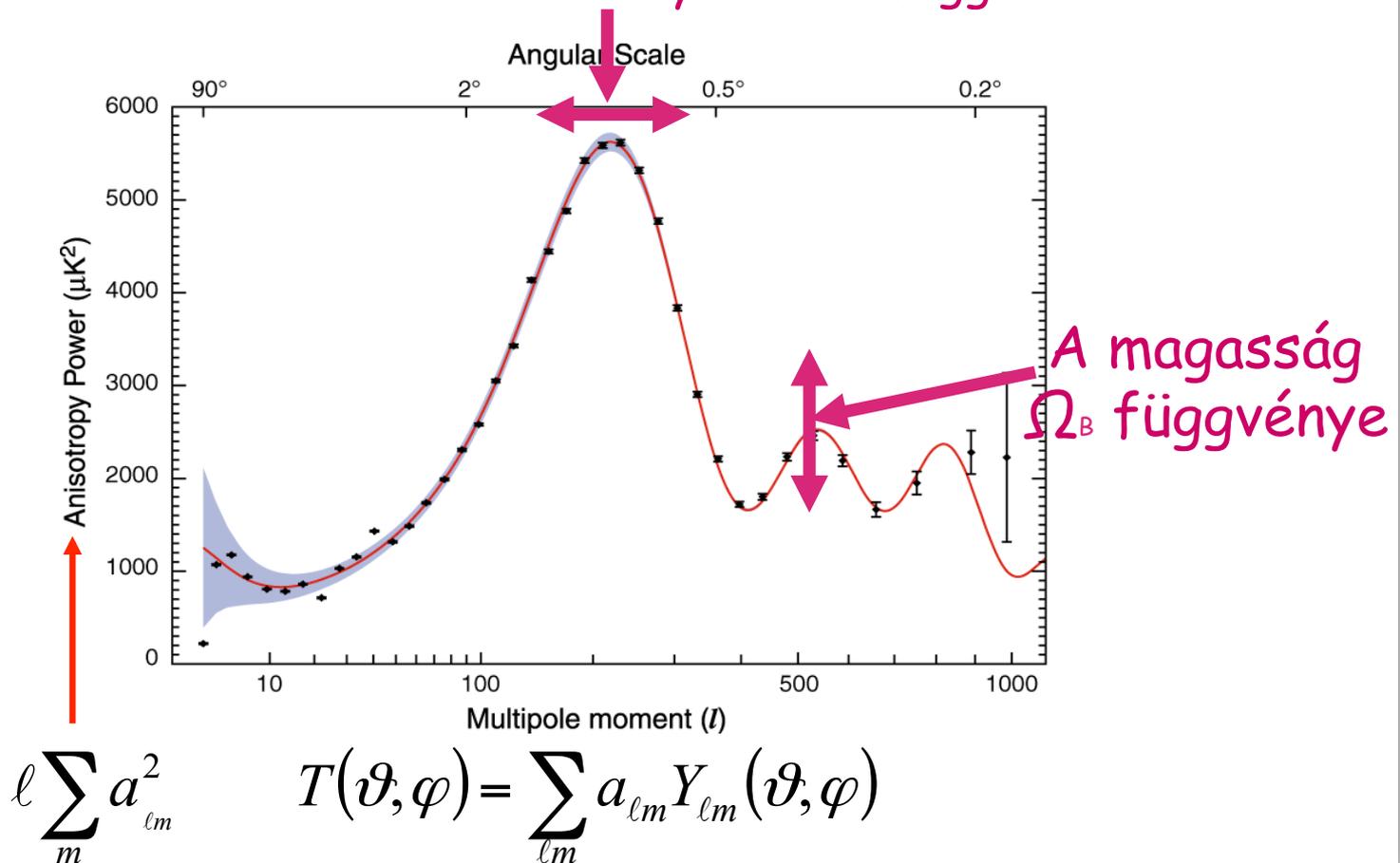
$l=16$

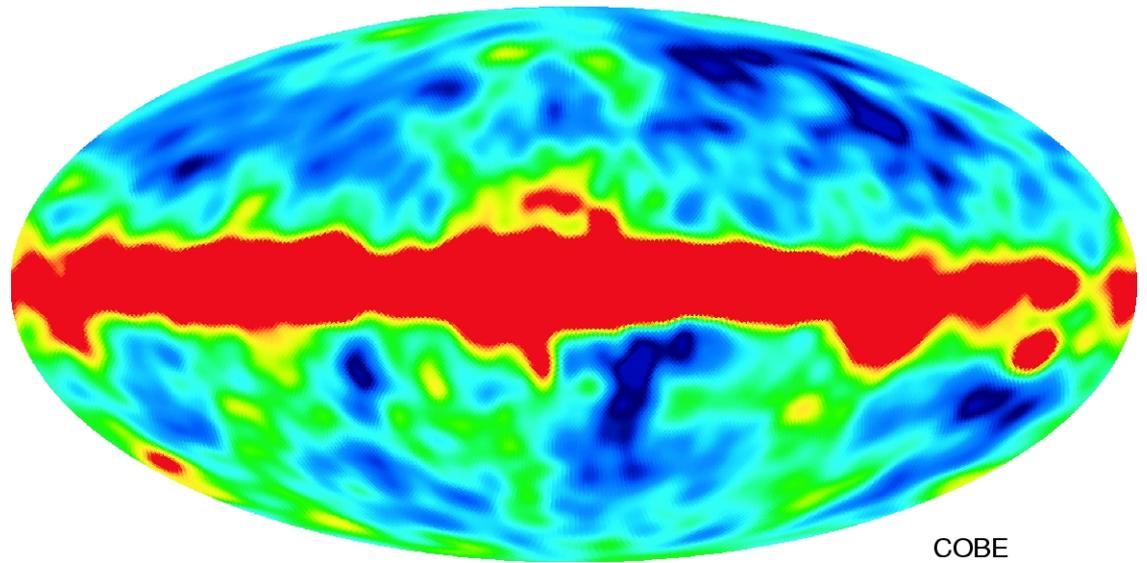
$$T(\vartheta, \varphi) = \sum_{l,m} a_{lm} Y_{lm}(\vartheta, \varphi)$$

Egy dia a 2009-es előadásomból

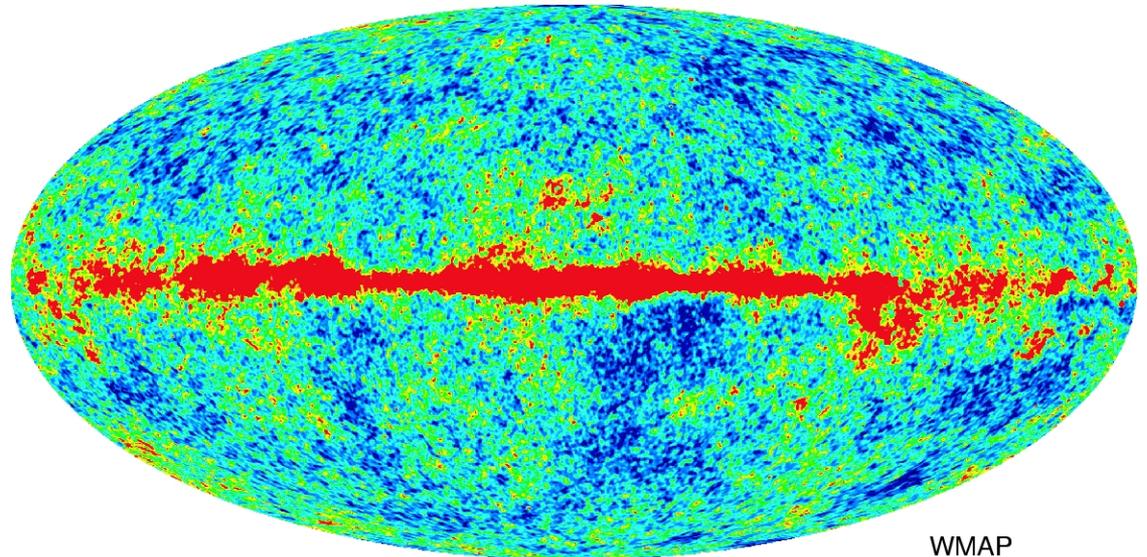
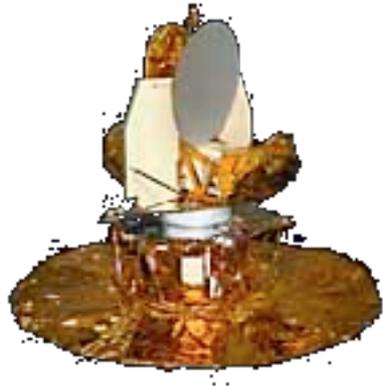
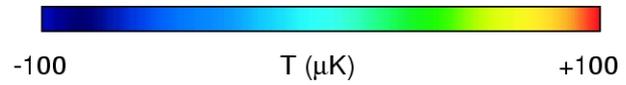
A kozmikus zene „hangszíne”
(a háttérsugárzás hatványspektruma)

Az első csúcs helye Ω -tól függ

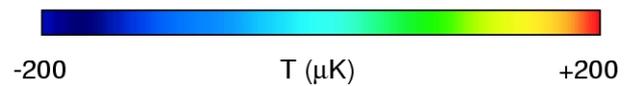


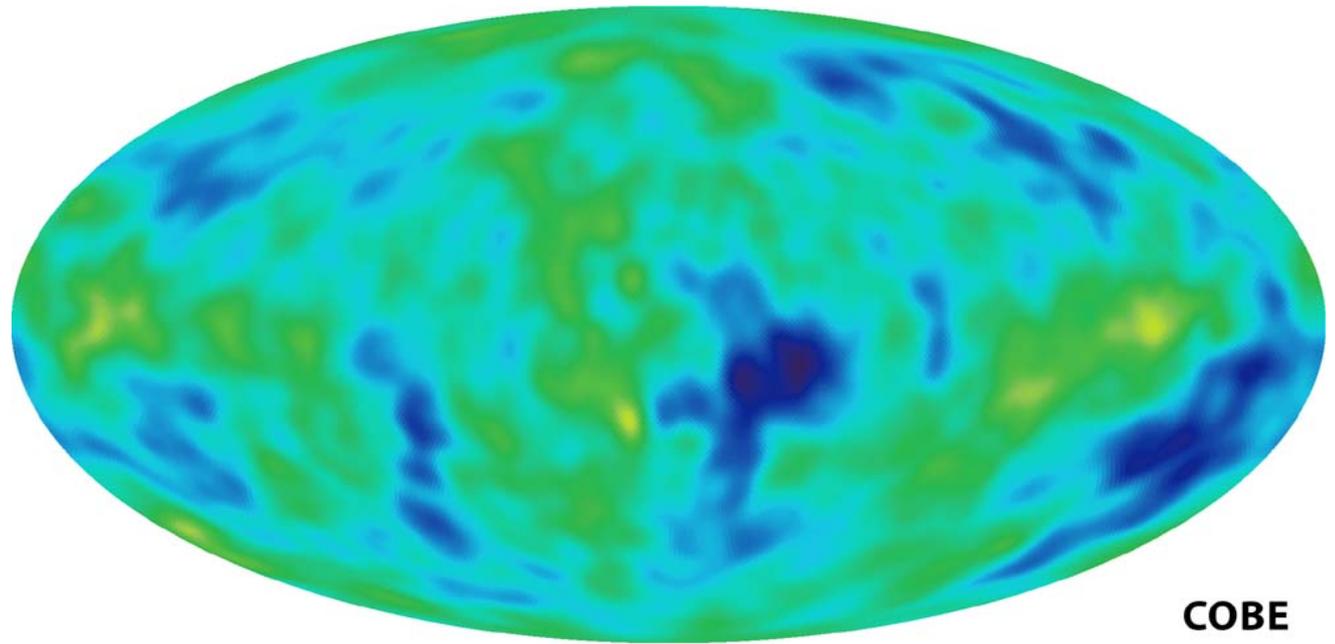


COBE

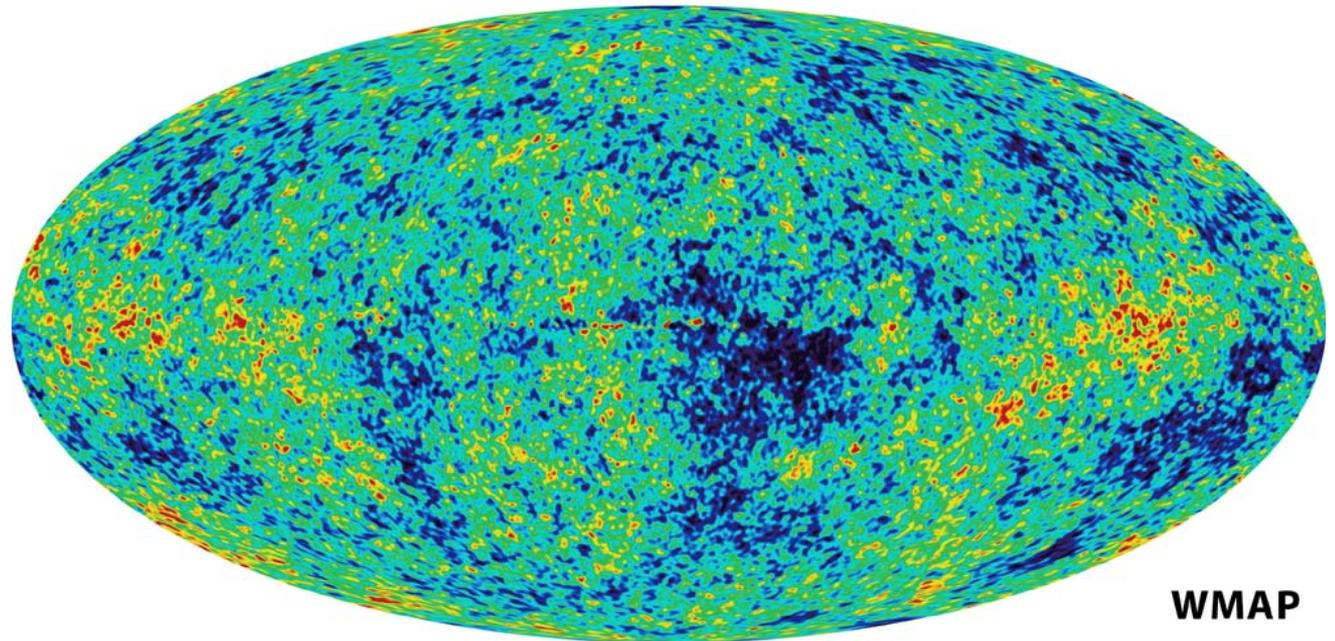
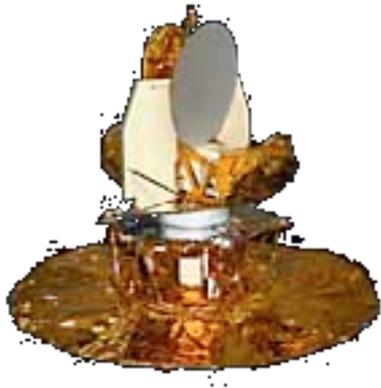


WMAP



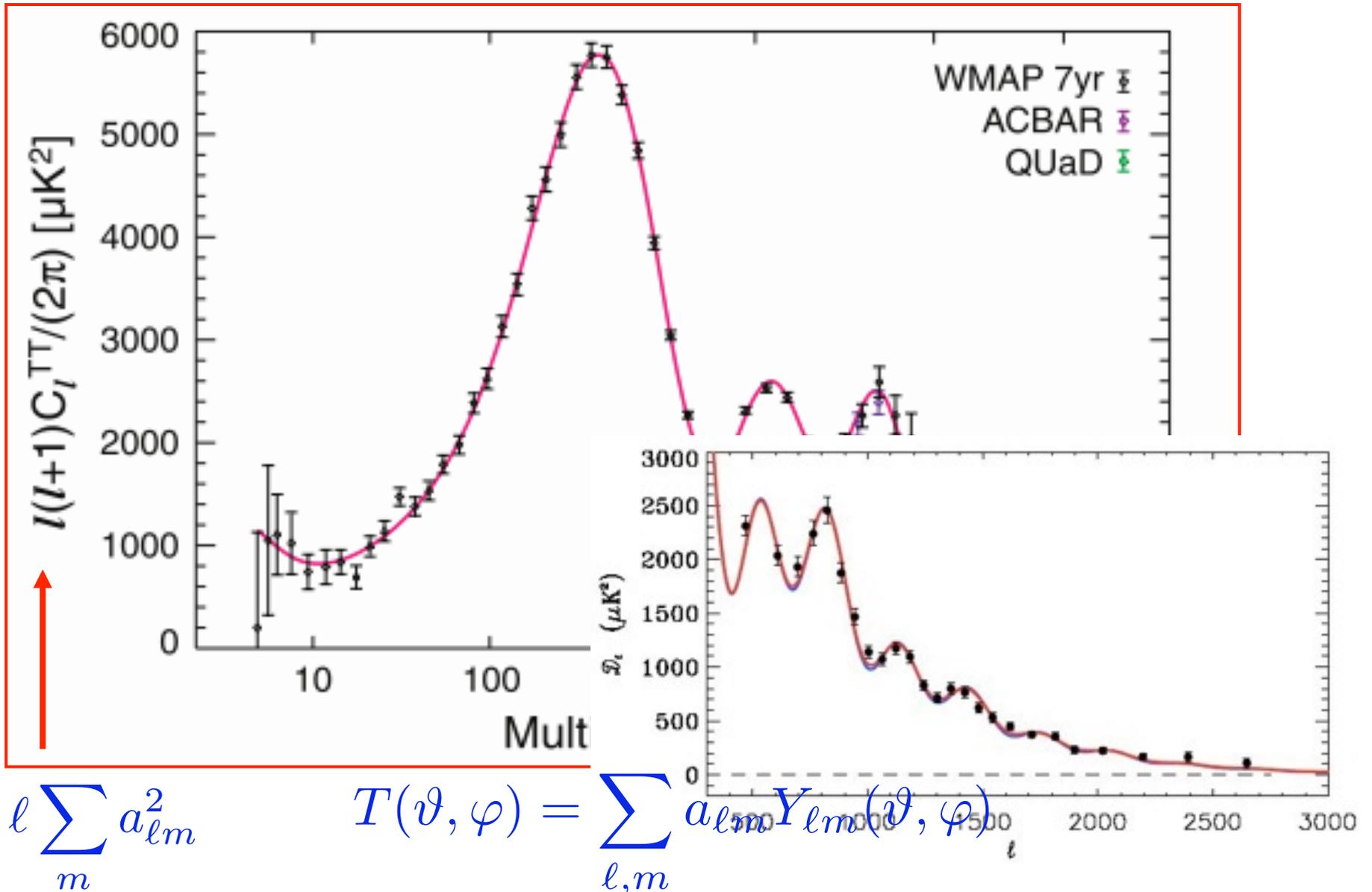


COBE



WMAP

A CMB hatványspektruma



Felső légköri kísérletek

BOOMERanG



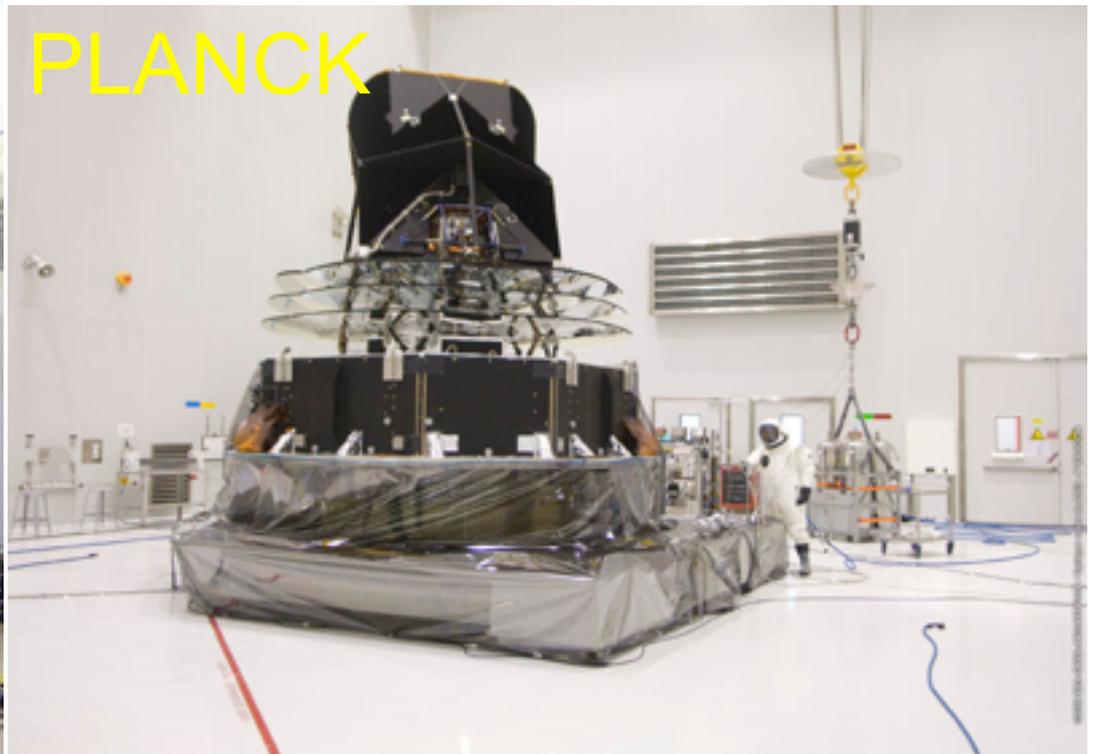
Maxima



EPSHEP Cocconi-prize 2011:

„a kozmikus háttérsugárzás anizotrópiájának tanulmányozásában elért kimagasló eredményeikért”

Kísérlet a világűrben



Kísérletek az Antarktiszon



SOUTH
POLE

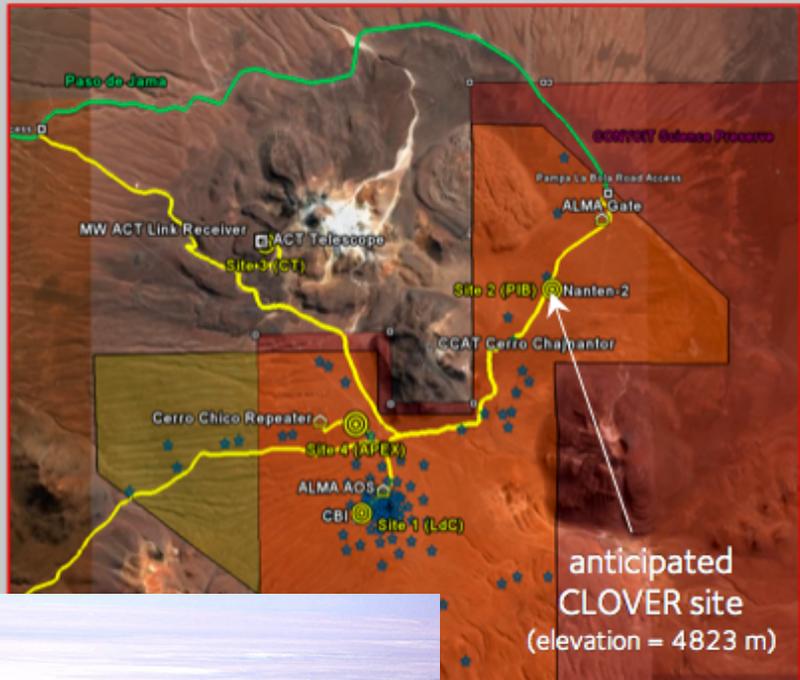
ACBAR
BICEP

DASI
QUAD
SPUD

Tiszta égbolt

További kísérletek: Andok tetején (Atacama. Cerro Toco)

CLOVER Site: Atacama, Chile



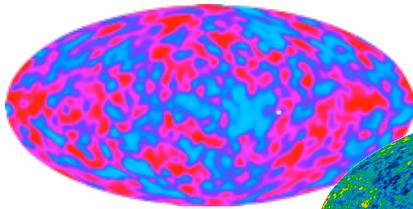
ACT



Az újszülött VE egyre szebb képe

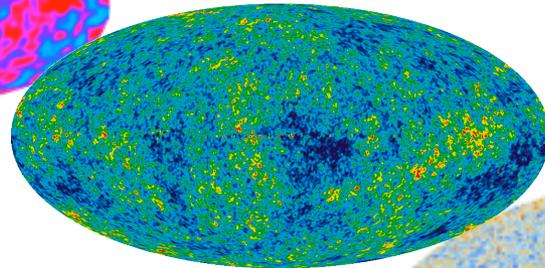
COBE

1992



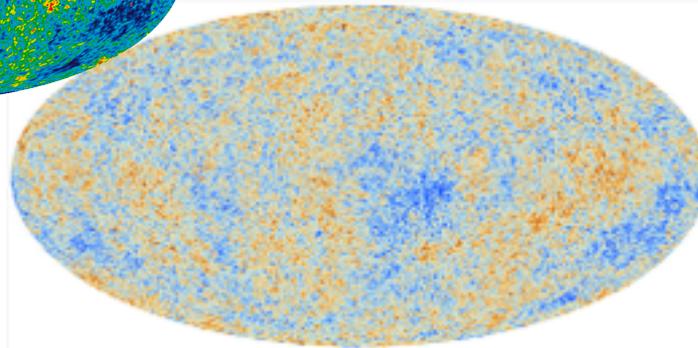
WMAP

2003



PLANCK

2013

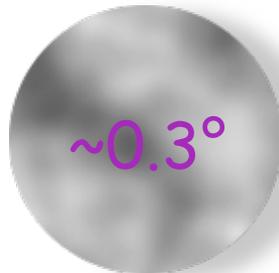


ACT, SPT

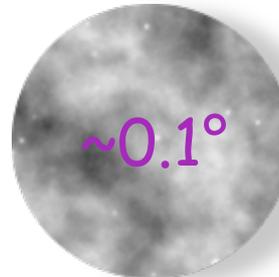
...



$\sim 7^\circ$



$\sim 0.3^\circ$

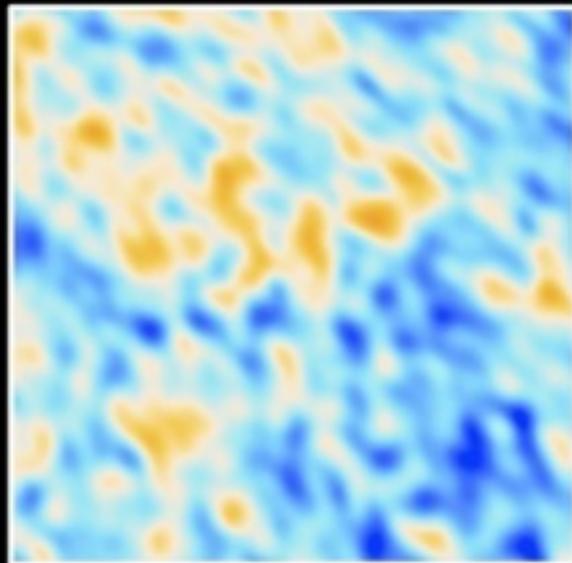
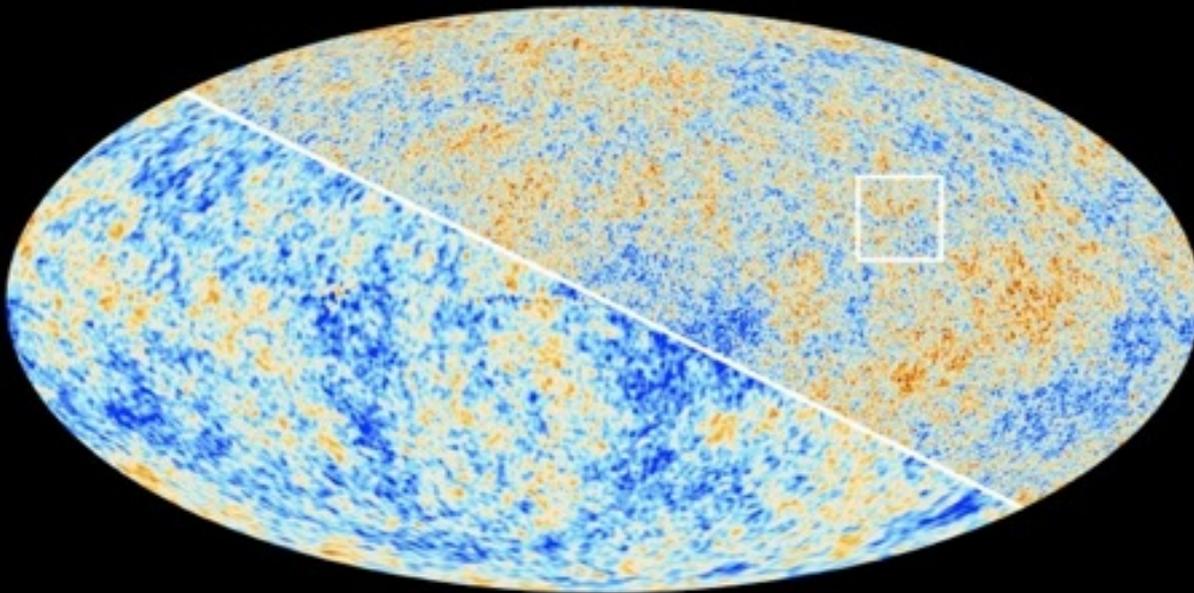


$\sim 0.1^\circ$

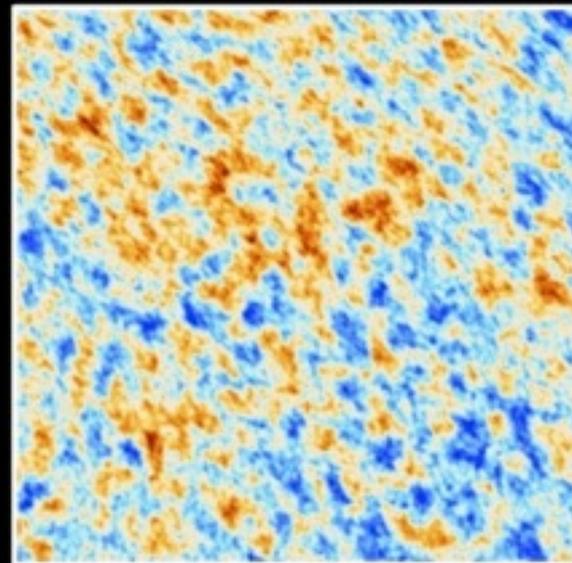


$\sim 0.02^\circ$

The Cosmic Microwave Background as seen by Planck and WMAP



WMAP



Planck

Hatványspektrum a Planck szerint

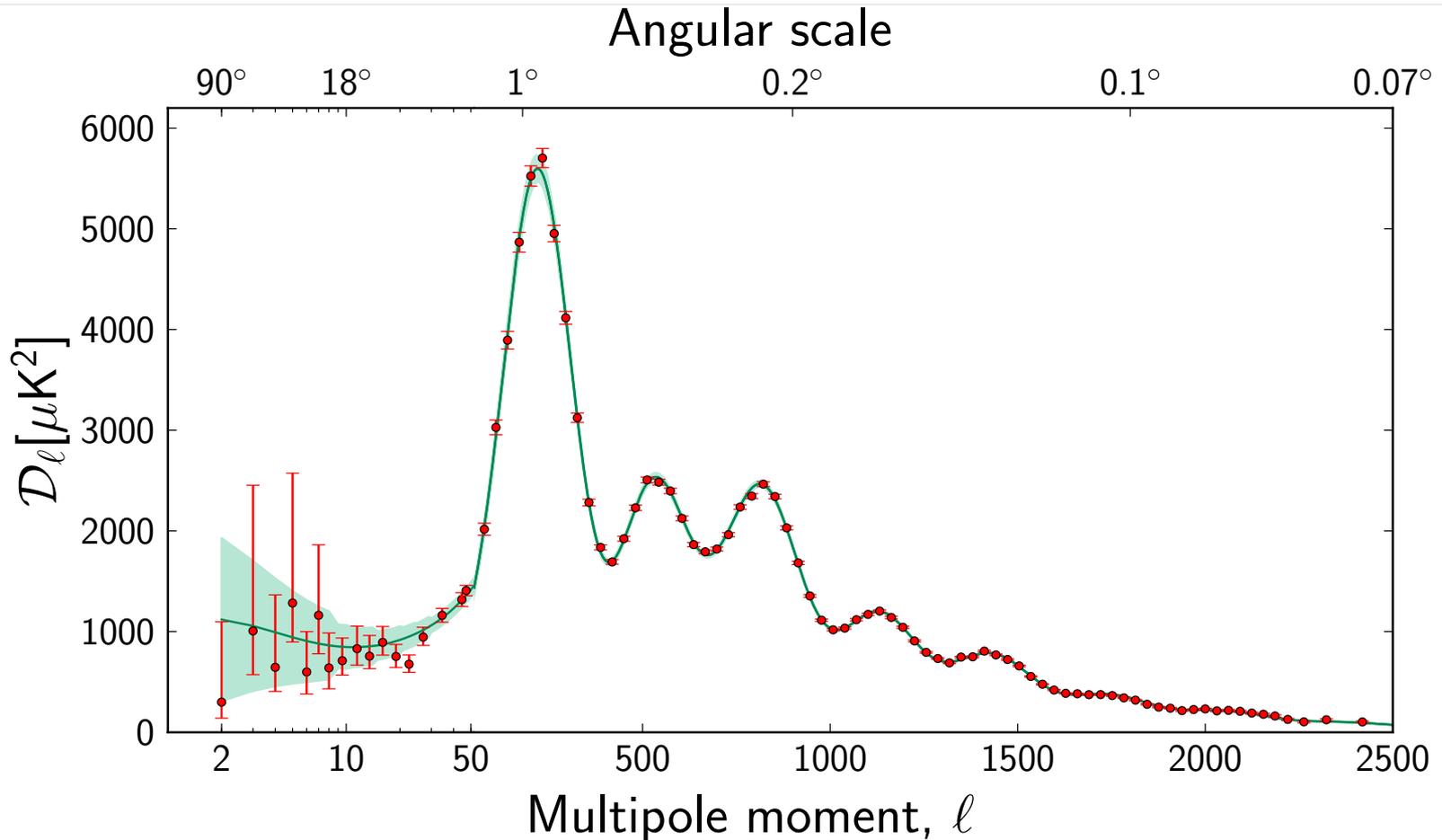


Fig. 19. The temperature angular power spectrum of the primary CMB from *Planck*, showing a precise measurement of seven acoustic peaks, that are well fit by a simple six-parameter Λ CDM theoretical model (the model plotted is the one labelled [Planck+WP+highL] in Planck Collaboration XVI (2013)). The shaded area around the best-fit curve represents cosmic variance, including the sky cut used. The error bars on individual points also include cosmic variance. The horizontal axis is logarithmic up to $\ell = 50$, and linear beyond. The vertical scale is $\ell(\ell + 1)C_\ell/2\pi$. The measured spectrum shown here is exactly the same as the one shown in Fig. 1 of Planck Collaboration XVI (2013), but it has been rebinned to show better the low- ℓ region.

Az ismert hatványspektrum

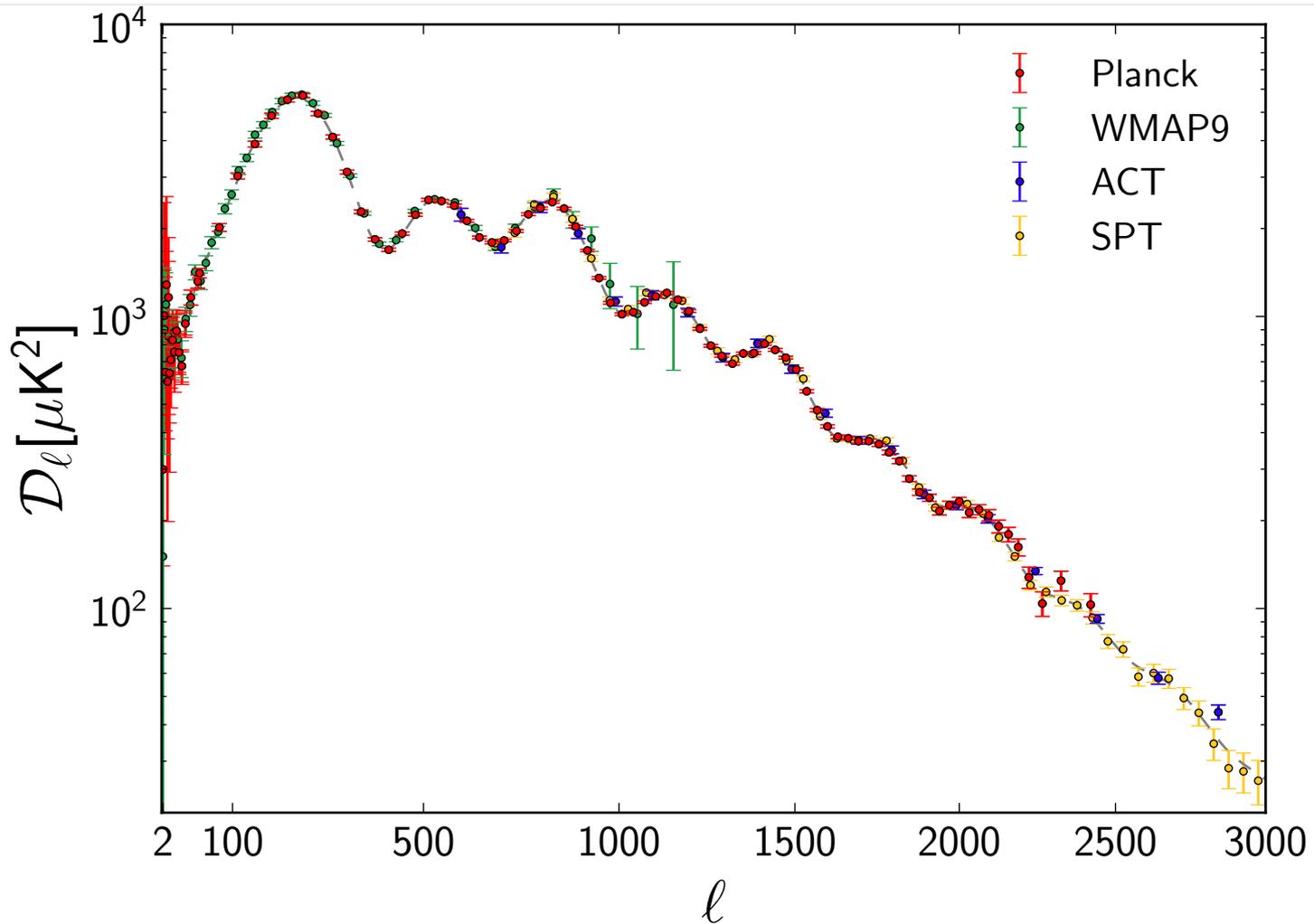
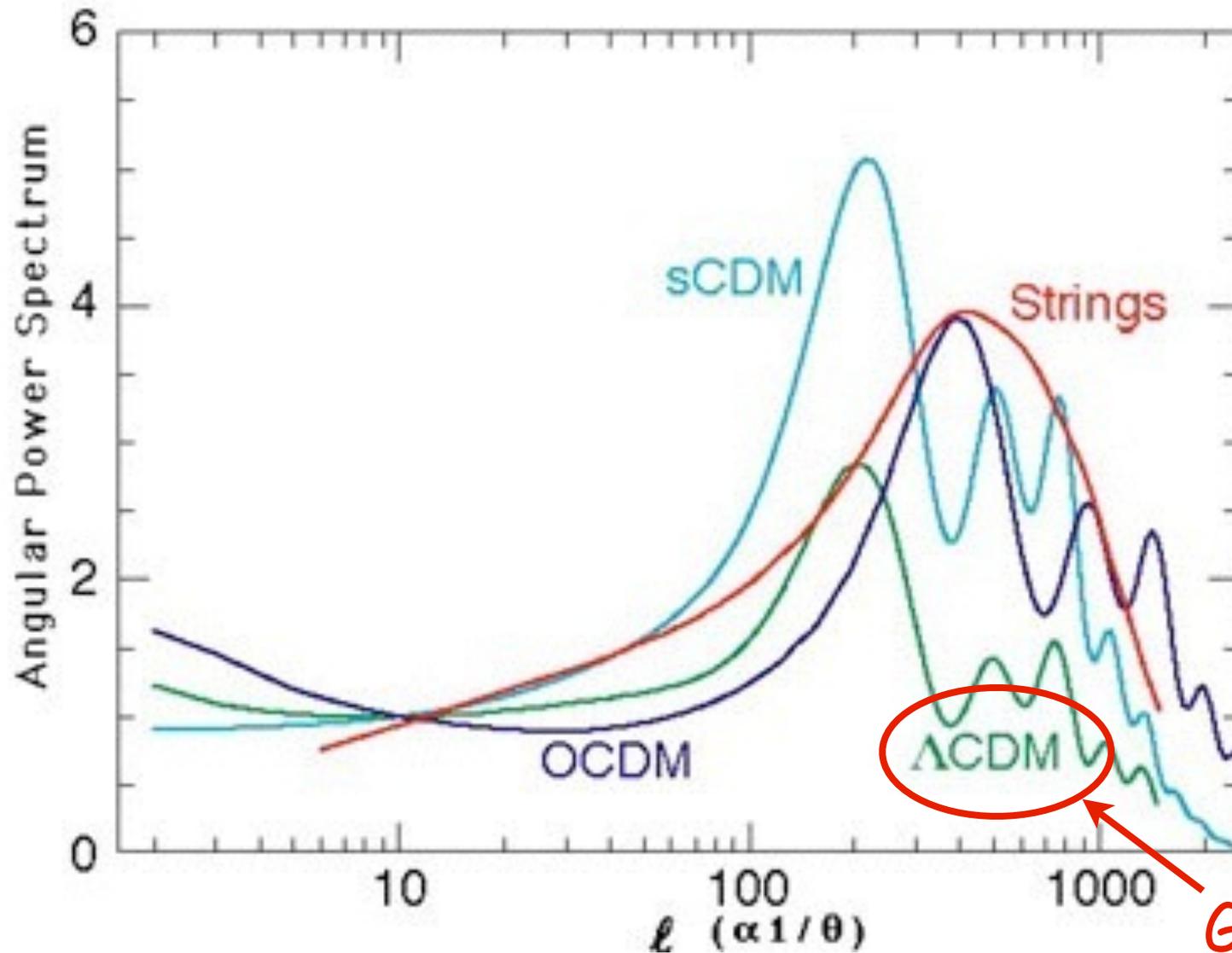


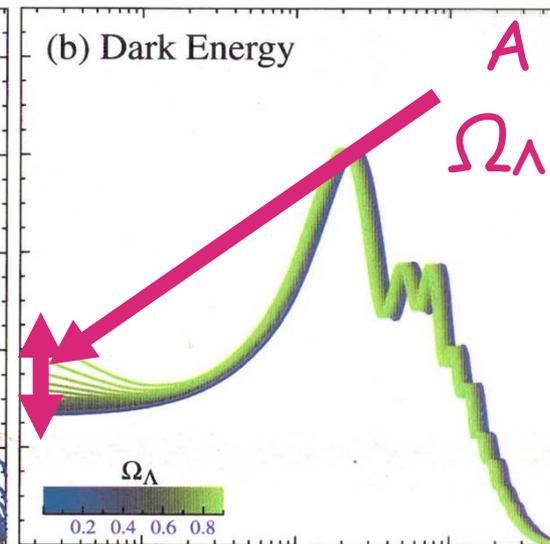
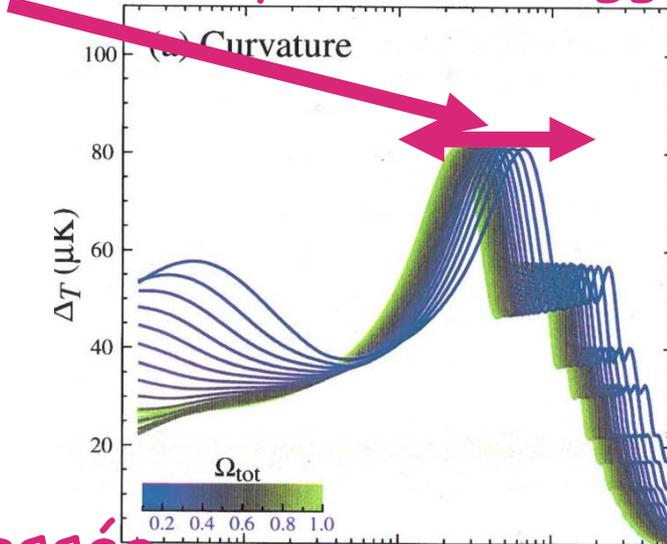
Fig. 25. Measured angular power spectra of *Planck*, WMAP9, ACT, and SPT. The model plotted is *Planck*'s best-fit model including *Planck* temperature, WMAP polarization, ACT, and SPT (the model is labelled [Planck+WP+HighL] in Planck Collaboration XVI (2013)). Error bars include cosmic variance. The horizontal axis is $\ell^{0.8}$.

Modelljóslatok hatványspektrumra
(Λ CDM: hat-paraméteres illesztés)



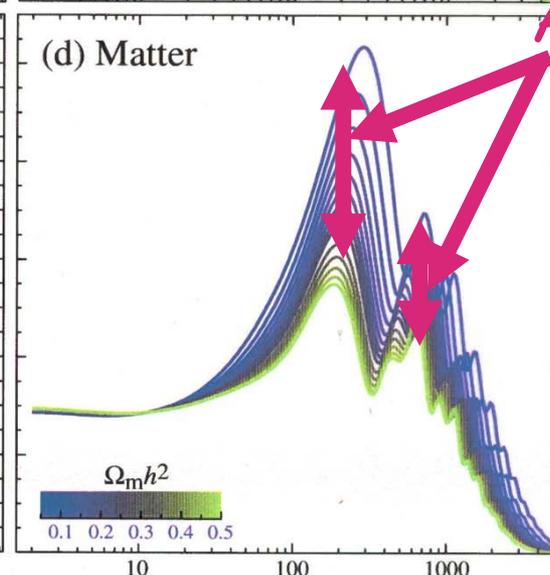
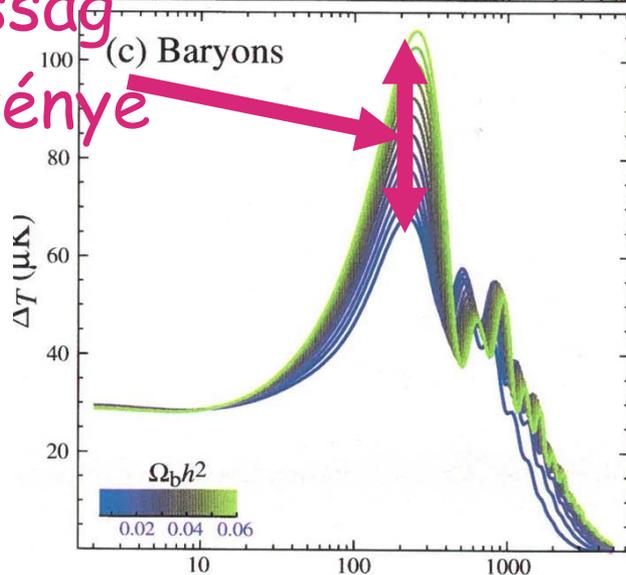
A hatványspektrumból nyerhető adatok

Az első csúcs helye Ω -tól függ



A magasság Ω_{Λ} függvénye

A magasság Ω_B függvénye



A magasságok Ω_m függvénye

Hatványspektrum a Planck szerint

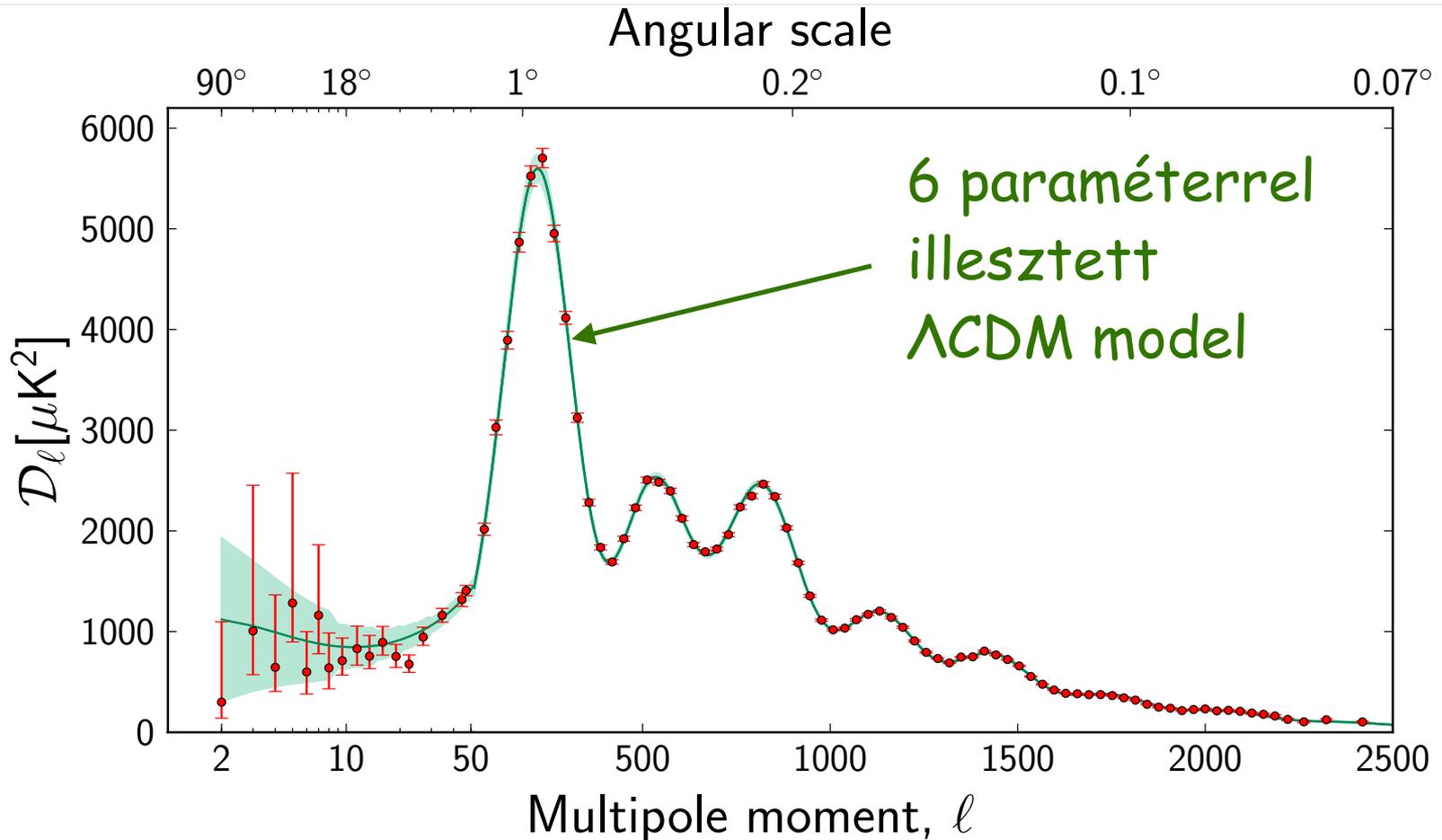
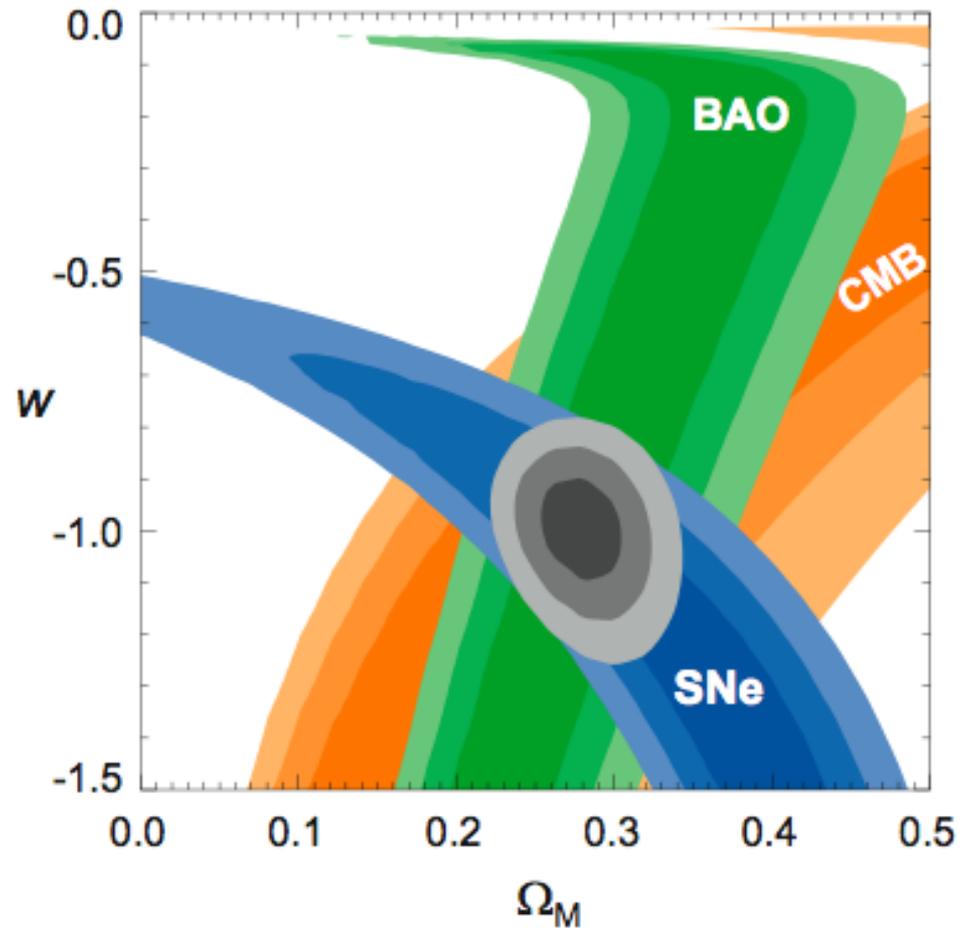
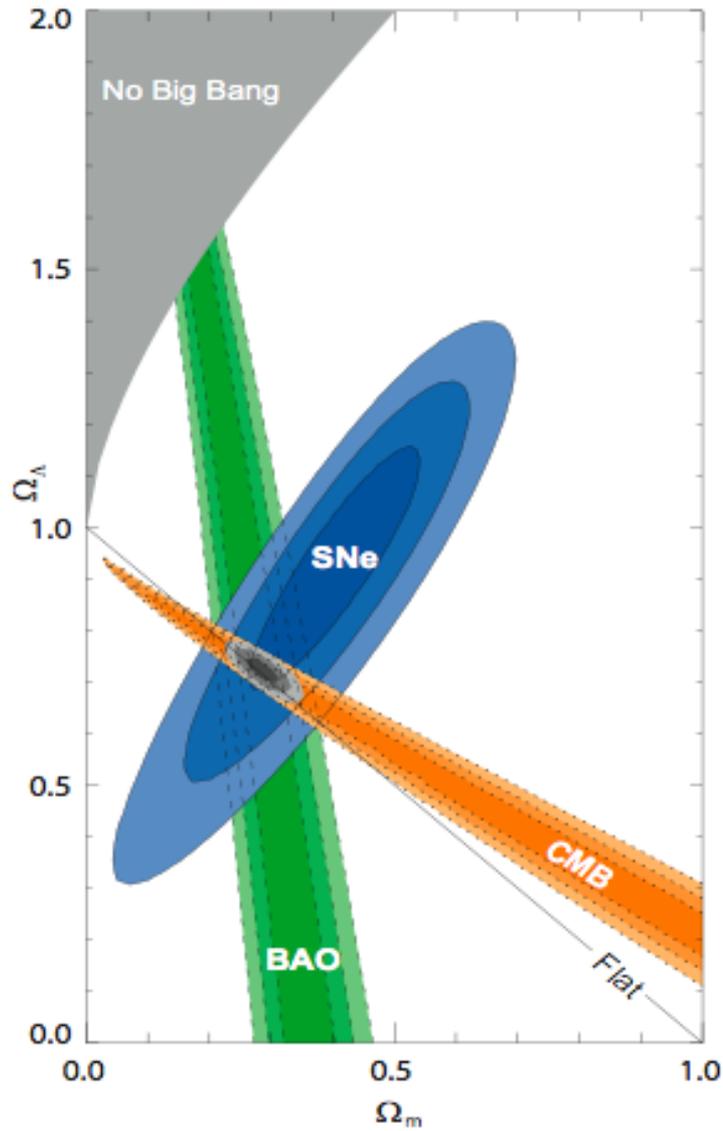


Fig. 19. The temperature angular power spectrum of the primary CMB from *Planck*, showing a precise measurement of seven acoustic peaks, that are well fit by a simple six-parameter ΛCDM theoretical model (the model plotted is the one labelled [Planck+WP+highL] in Planck Collaboration XVI (2013)). The shaded area around the best-fit curve represents cosmic variance, including the sky cut used. The error bars on individual points also include cosmic variance. The horizontal axis is logarithmic up to $\ell = 50$, and linear beyond. The vertical scale is $\ell(\ell + 1)C_\ell/2\pi$. The measured spectrum shown here is exactly the same as the one shown in Fig. 1 of Planck Collaboration XVI (2013), but it has been rebinned to show better the low- ℓ region.

A három nagyágyú: SNIa, CMB, BAO



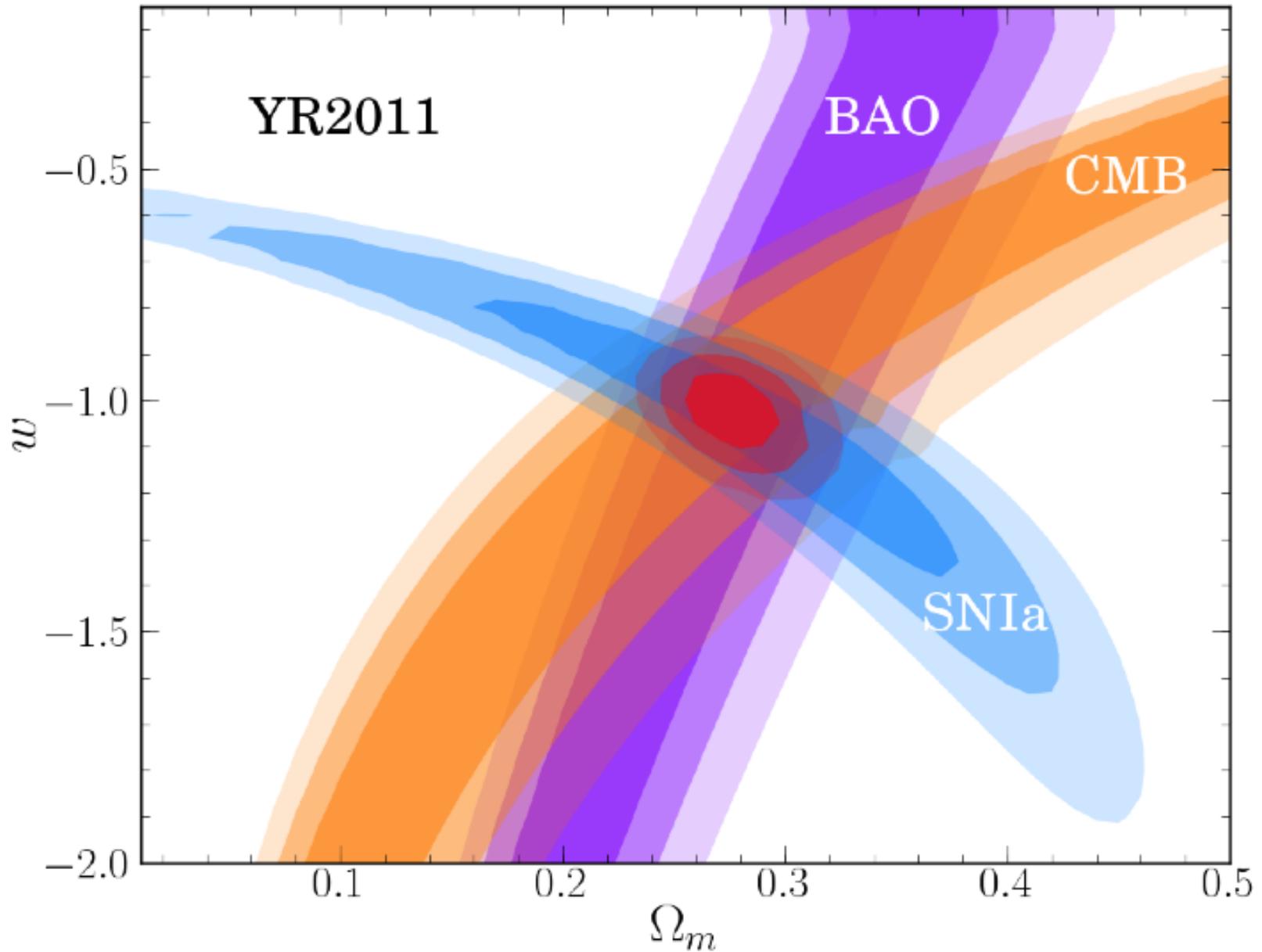
Mi a sötét energia?

- A sötét energia a VE gyorsuló tágulásának egy lehetséges és népszerű magyarázata.
- Két változatát képzelik
 - Kozmológiai állandó, ami a teret mindenütt kitöltő homogén energiasűrűség
 - Mindent kitöltő homogén skalármező (nem a Higgs!)
- **Állapotegyenlet (nyomás \propto energiasűrűség)**

$$p=w\varepsilon$$

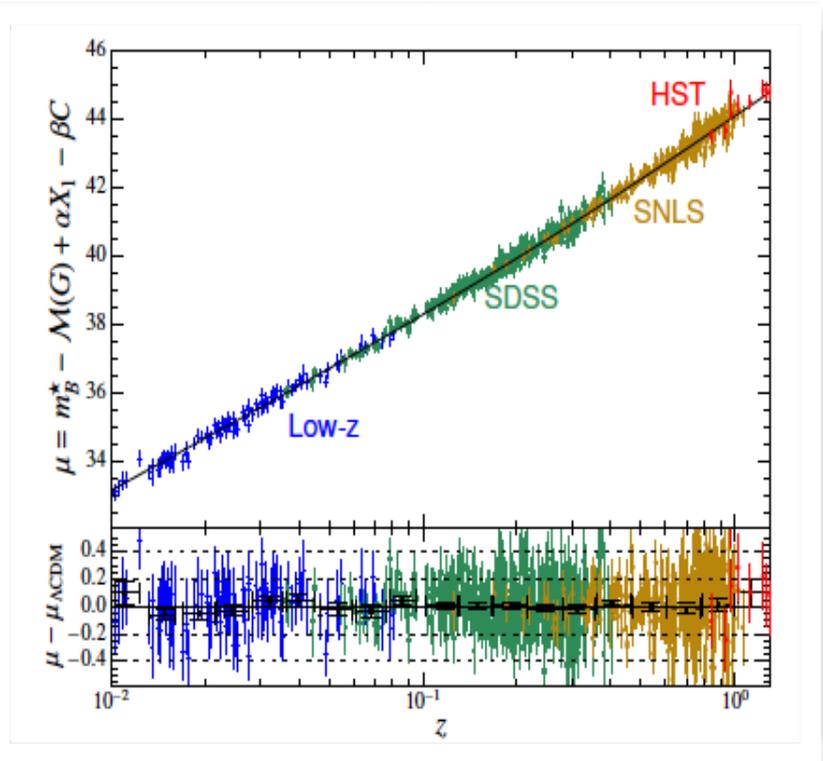
- 13. kérdés: Mekkora w nem-relativisztikus ideális gáz esetén?
- Relativisztikus ideális gáz: $w=1/3$
- **Kozmológiai állandó: $w=-1$**

A három nagyágyú: SNIa, CMB, BAO

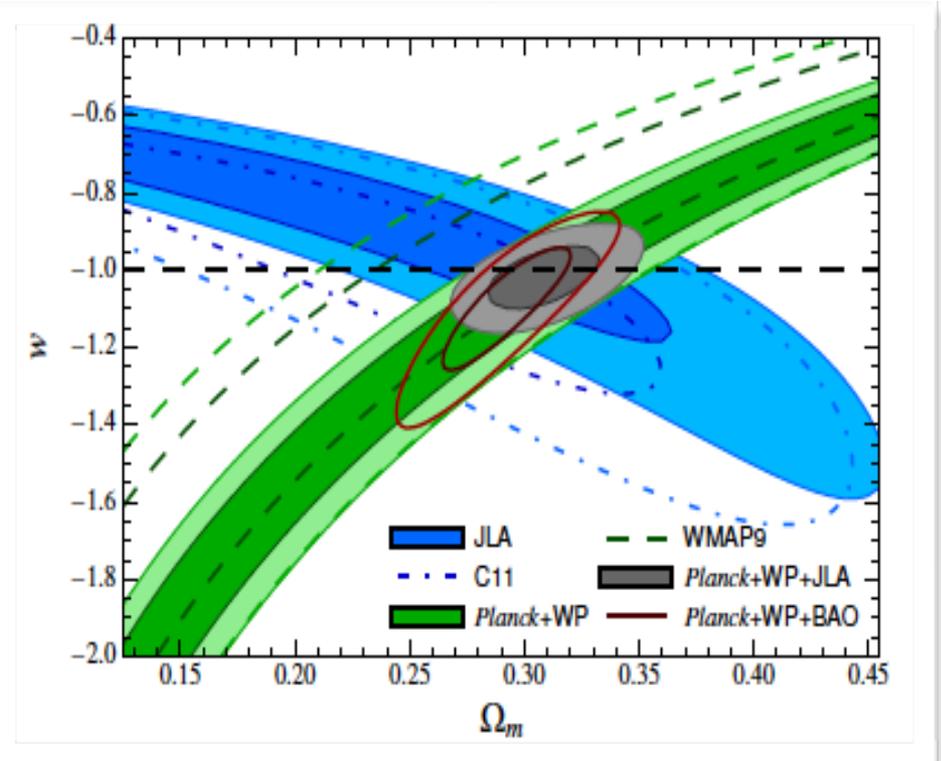


2015:

Hubble-tv



w- Ω_m diagram



Kozmológiai paraméterek

mennyiség	2003	2015 (Planck+...)
H	71	67.74 ± 0.46 km/s/Mpc
Ω	1.02 ± 0.02	1.000 ± 0.009
Ω	0.27 ± 0.04	0.3089 ± 0.0062
Ω	0.044 ± 0.004	0.0501 ± 0.0003
Ω	0.73 ± 0.04	0.6911 ± 0.0062
T	(13.7 ± 0.2) Gév	(13.799 ± 0.021) Gév
T	(379 ± 8) ezer év	

Mi lehet a sötét anyag?

VE-ben keressük:

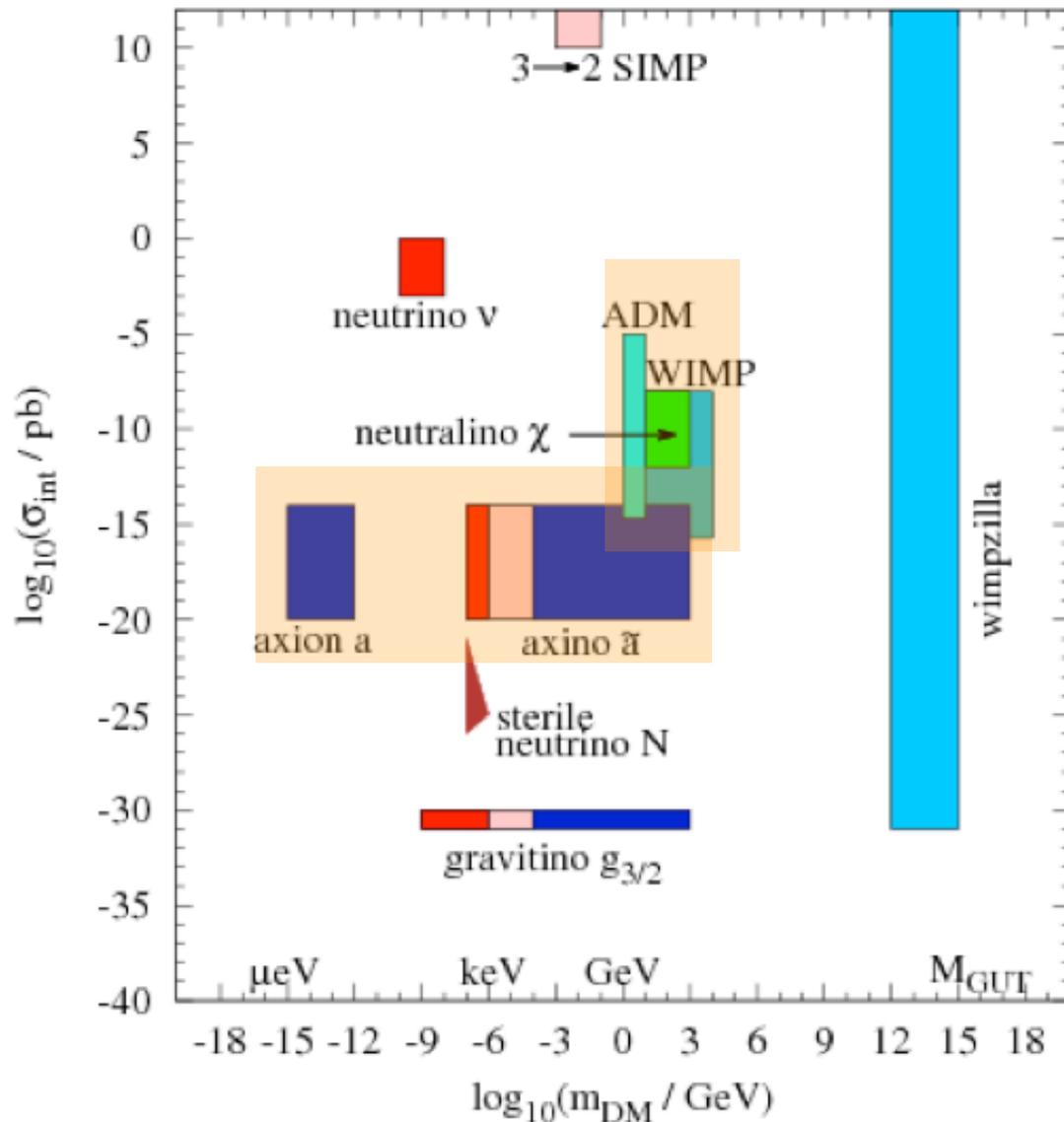
- **Barionos:** önálló kutatási területek
 - bolygók
 - fehér törpék
 - MACHO-k (**M**assive **C**ompact **H**alo **O**bject): barna, fekete törpék, neutroncsillagok, fekete lyukak
 - gázfelhők
- WIMP-ek

Laboratóriumban keressük:

- **Nem barionos** (ismeretlen), **gyengén hat kölcsön a barionos anyaggal**
 - „forró” (közel fénysebességű, **HDM**): neutrínók (kevés)
 - „hideg” (lassú, **CDM**): **W**eakly **I**nteracting **M**assive **P**article (**WIMP**)
Részecskefizikusok kedvence, de egyelőre nem sikerült találni

Netalán a gravitáció módosul nagy skálán?

...de van sok más javaslat is



Legnépszerűbb WIMP: LSP

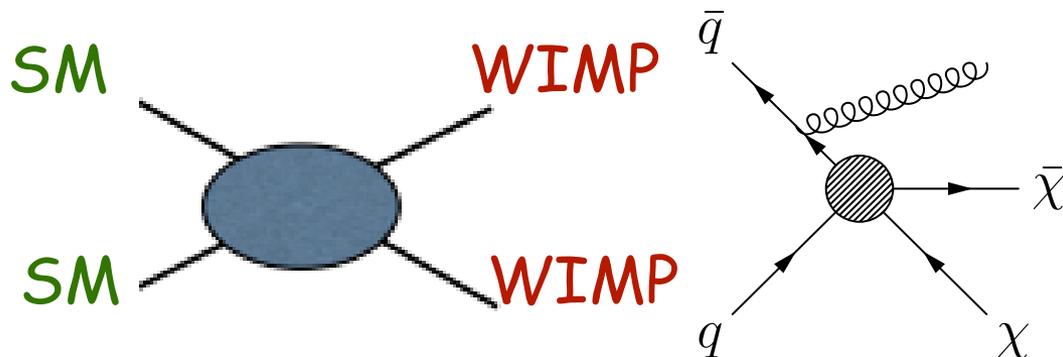
- $D = R = (-1)^{3B+2S+L}$ R-paritás
 - 13+1. kérdés: Mekkora az u-kvark és a muon R-paritása?
 - $R = -1$ s-fermionokra
- Ha a legkönnyebb s-részecske semleges (neutralínó), akkor SA jelölt
- Az ilyen s-részecske közvetve felfedezhető az LHC-n (hiányzó energia a jele)

Egy minimális lehetőség: inert Higgs

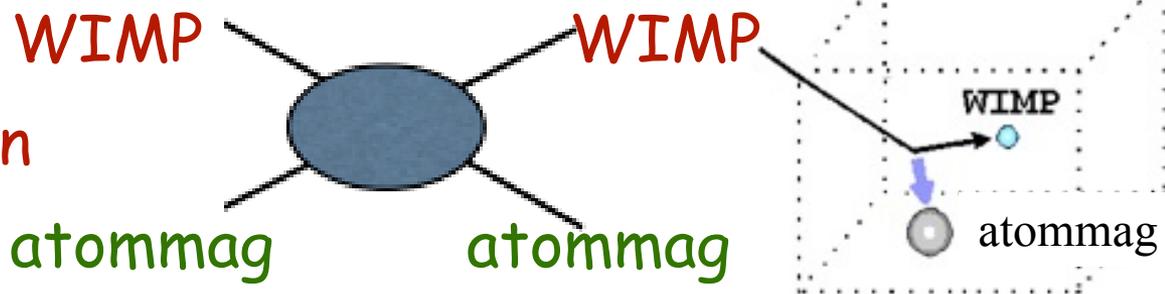
- A SM Higgs-mechanizmus minimális kiterjesztése feltételezett D-szimmetriával
 - A $D = -1$ -es Higgs-részecske az SA jelölt (fermionokkal nem hat kölcsön)

WIMP-ek keresése

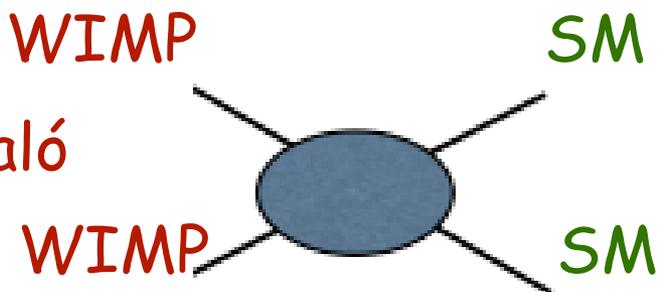
- gyorsítóval:
események hiányzó energiával



- közvetlenül:
rugalmas szórás
atommagon mélyen
a felszín alatt



- közvetve:
szétsugárzásra utaló
jel a világűrben



Felfedezésre ítéelve?

The Decade of the WIMP

Ce sera la décennie de la matière noire !

SCIENTIFIC
AMERICAN™

Dark Matter Mystery May Soon Be Solved

Experiments to detect dark matter, which scientists believe makes up about a quarter of the universe, are underway and may yield direct evidence within a decade

THE DAILY
GREAT DISCOVERIES CHANNEL
GALAXY

December 22, 2012

"We're on the Threshold of Unraveling the Biggest Mystery in Modern Physics" --World's Dark-Matter Cosmologists

SCIENCE TODAY BEYOND THE HEADLINES

TOP STORY: FEBRUARY 20, 2013

Decade of Dark Matter

Should we declare this the decade of the WIMPs? Before you

SCIENCE

'Decade of dark matter' begins

ADRIAN CHO

Last updated 12:26 31/07/2012

Like 45

Tweet 5

PHYS.ORG

Scientists sense breakthroughs in dark-matter mystery

Feb 18, 2013 by Jean-Louis Santini

La traque de la matière noire touche t-elle à sa fin

BFMTV > Planète > Espace

Univers : le mystère de la matière noire bientôt résolu ?

Le Point.fr - Publié le 22/02/2013 à 16:33 - Modifié le 22/02/2013 à 16:41

La piste de la mystérieuse matière noire se précise...

nature
International weekly journal of science

18 November 2010

Gianfranco Bertone

The moment of truth for WIMP dark matter

majd meglátjuk...

Értjük-e ezeket a kérdéseket?

- Vannak-e eddig fel nem fedezett természeti törvények?
- Hogyan érthetjük meg a sötét energia rejtélyét?
- Létezik-e több mint három tér-dimenzió?
- Egyesülnek-e az alapvető kölcsönhatások?
- Miért van oly sokfajta elemi részecske? Van-e esetleg több?
- Mi a sötét anyag, elő tudjuk-e állítani laboratóriumban?
- Mit mondanak a neutrínók?
- Hogyan keletkezett fejlődött a Világegyetem?
- Hová tűnt az antianyag?

Vége

