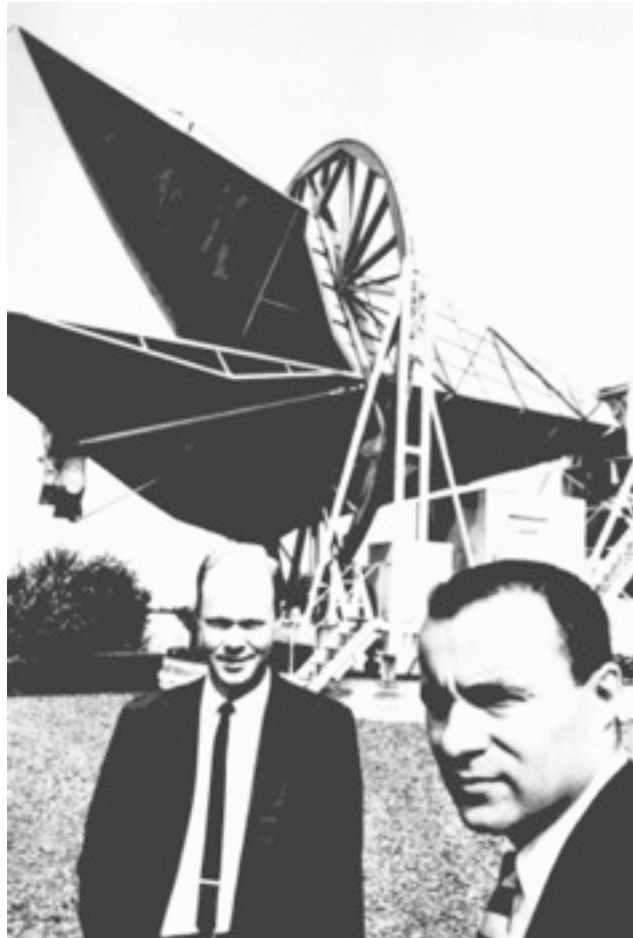


2. Rész

A kozmikus 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 antennát készített, amellyel...
 - iránytól
 - napszaktól, évszaktólfüggetlen elektromágneses sugárzást észleltek
 - Az antenna hibáját kizárták
- (Még a véletlen felfedezéshez is elengedhetetlen a pontosság!)

Mi lehet a titokzatos sugárzás forrása?

A kozmikus sugárzás

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

- iránytól
- napszaktól, évszaktól

független elektromágneses sugárzást észleltek

- Az antenna hibáját kizárták

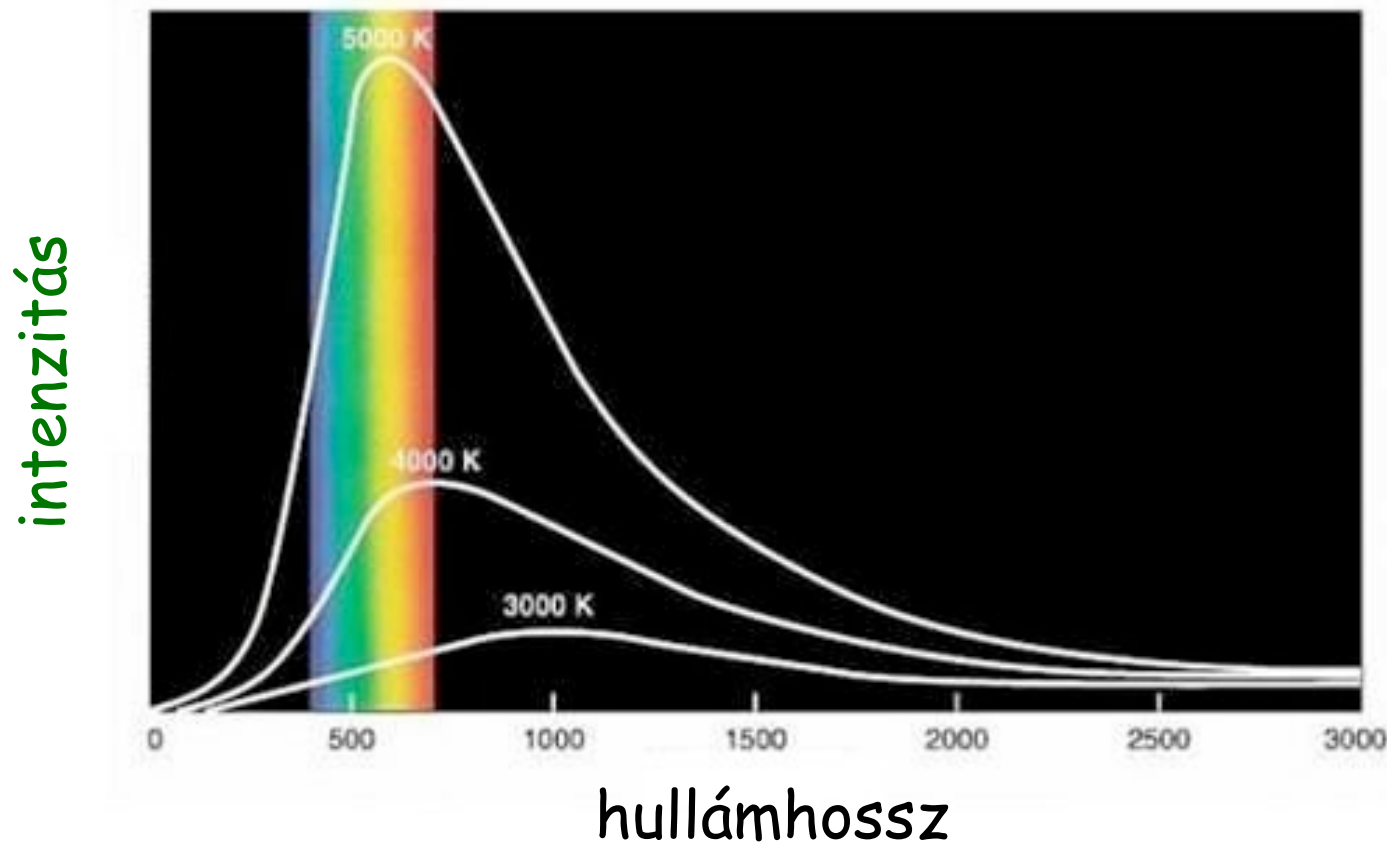
Mi lehet a titokzatos sugárzás forrása?

- 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 (10. kérdés: Mit jelent ez?)

A hőmérsékleti sugárzás intenzitásának hullámhosszfüggése



~10cm alatt a légkör átlátszatlan ⇒

Fölről csak az eloszlás maximumától jobbra eső rész mérhető

Irány a világűr: A Cosmic Background Explorer űrszonda

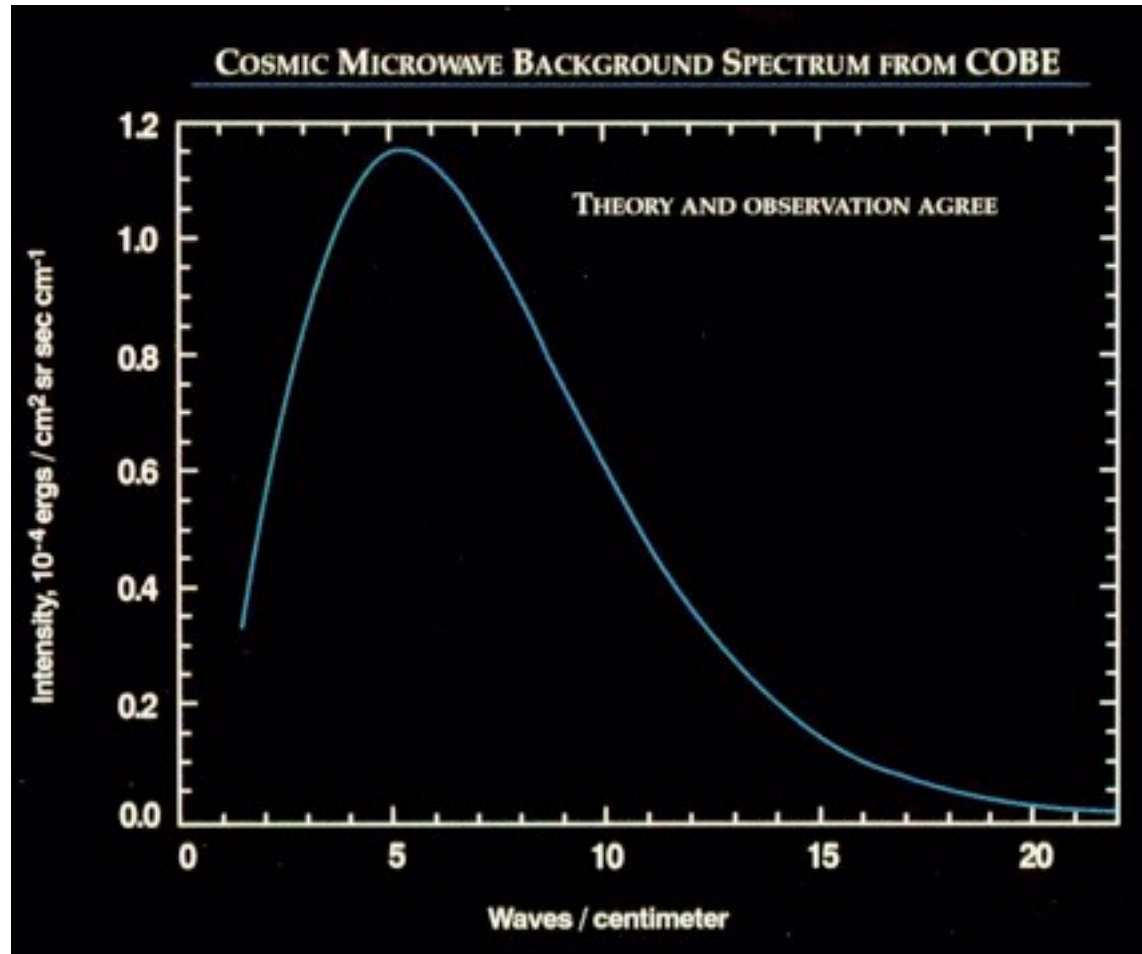


FIRAS = Far Infrared Absolute Spectrophotometer

DMR = Differential Microwave Radiometer

DIRBE = Diffuse Infrared Background Experiment

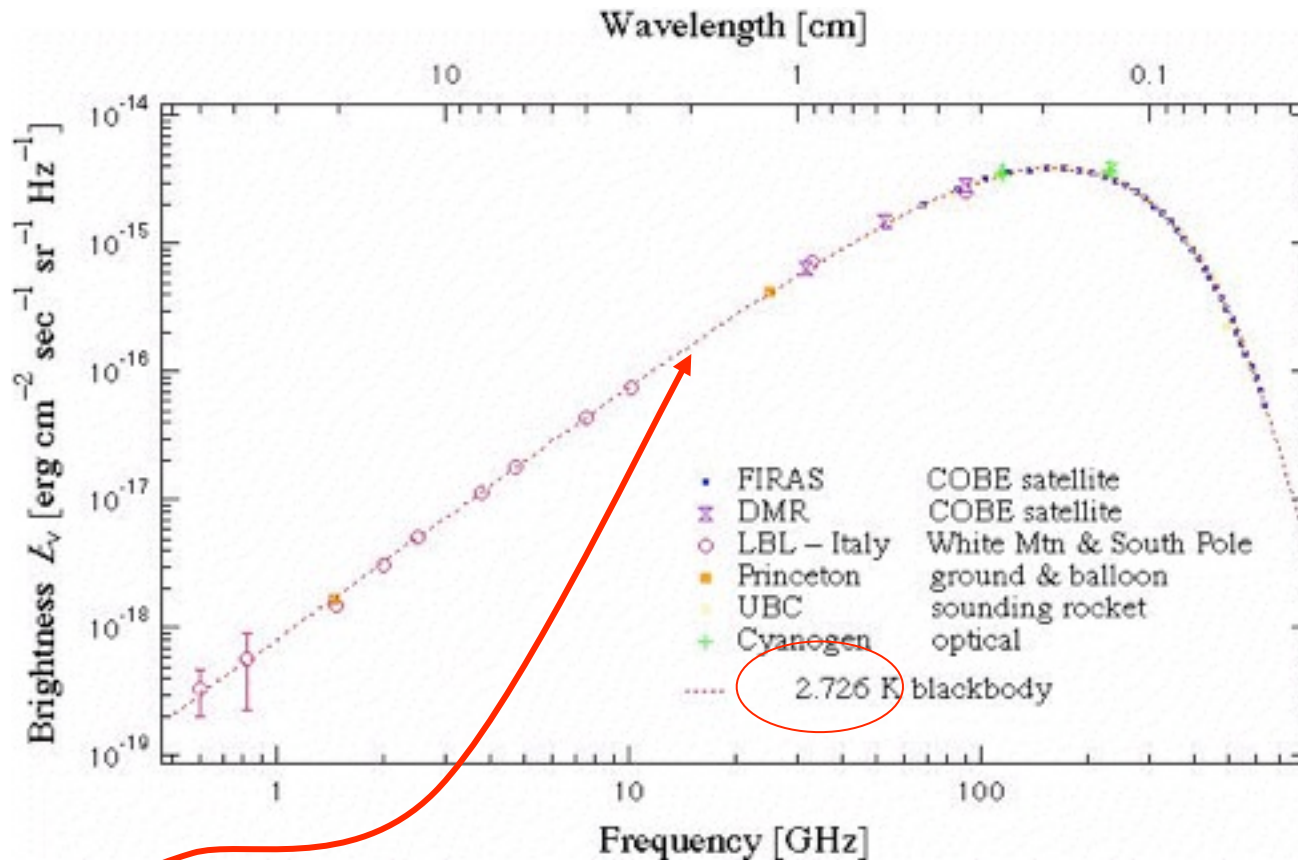
A FIRAS spektrum



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

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

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

$$E_\gamma = \frac{h}{\lambda} \quad \& \quad \forall \lambda \propto R \quad \Rightarrow \quad kT = \langle E_\gamma \rangle \propto \frac{1}{R}$$

$$\rho c^2 = \varepsilon \propto \frac{1}{R^n}$$

sugárzás:	$n = 4$
anyag:	$n = 3$
kozmológiai állandó:	$n = 0$

A FIRAS spektrum

A hőmérsékleti sugárzás spektrumát a Planck-féle eloszlás írja le

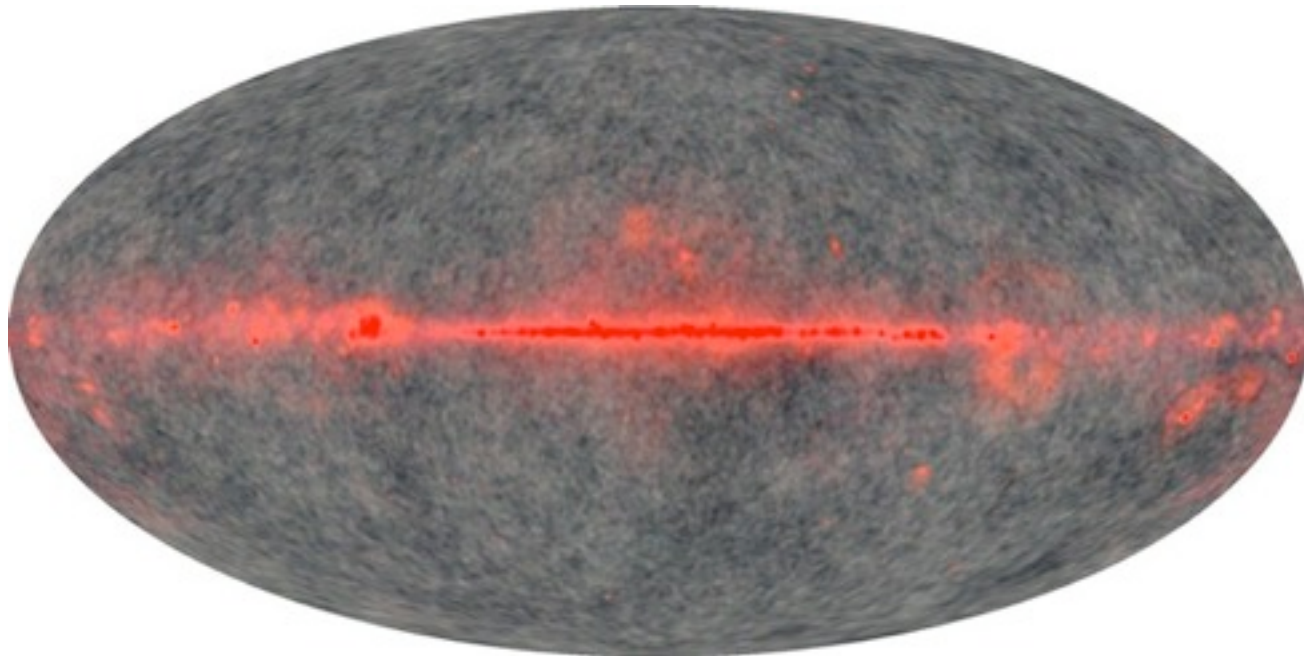
$$d\varepsilon(\nu, T) = 8\pi \frac{(kT)^4}{(hc)^3} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} \quad x = \frac{h\nu}{kT}$$

$$n_\gamma(T) = \int_0^\infty \frac{d\varepsilon(\nu, T)}{h\nu} = 8\pi \frac{(kT)^3}{(hc)^3} \int_0^\infty \frac{x^2 dx}{e^x - 1} \simeq 413 \cdot 10^6 \frac{\gamma}{\text{m}^3}$$

$$\rho_c \simeq 5 \frac{\text{H atom}}{\text{m}^3}$$

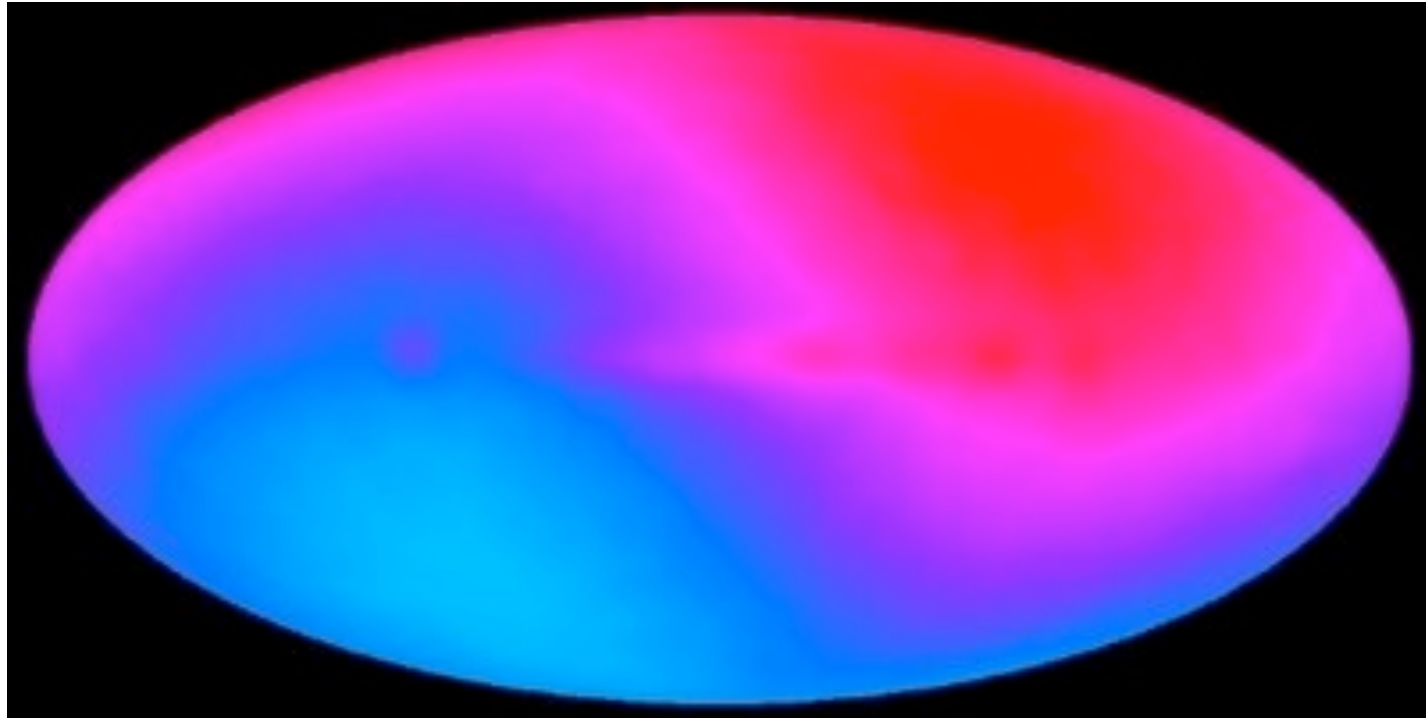
A nukleáris részecske/foton arány $\eta = 10^{-9 \pm 1}$
(a számokat jegyezzük meg!)

Izotrópnek látta-e a COBE VE-t?



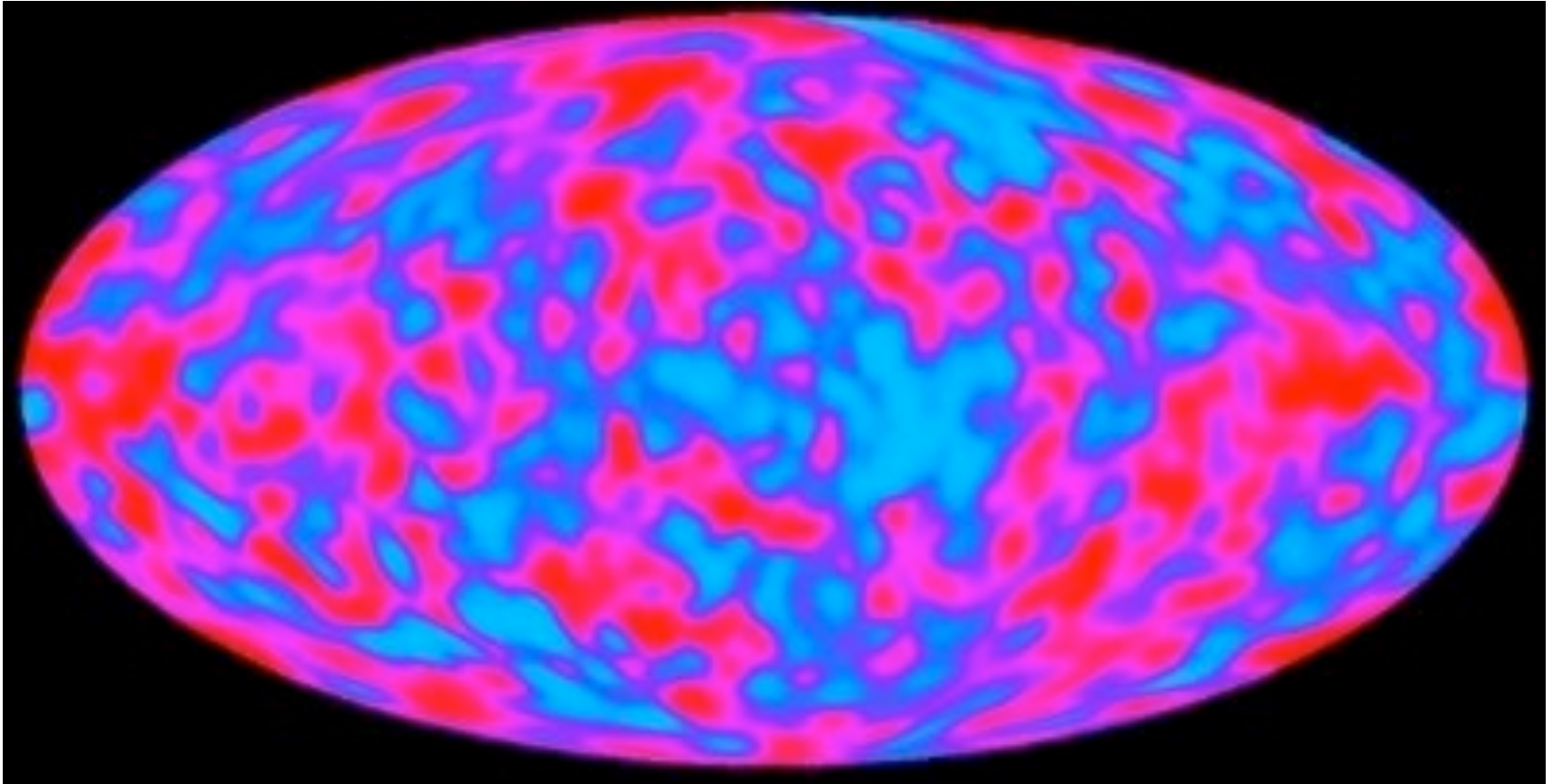
A Tejút hatását le kell vonni

Izotrópnak látta-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)

Nobel-díj átadás 2006. december 10.

A Fizikai Nobel-díj érme:



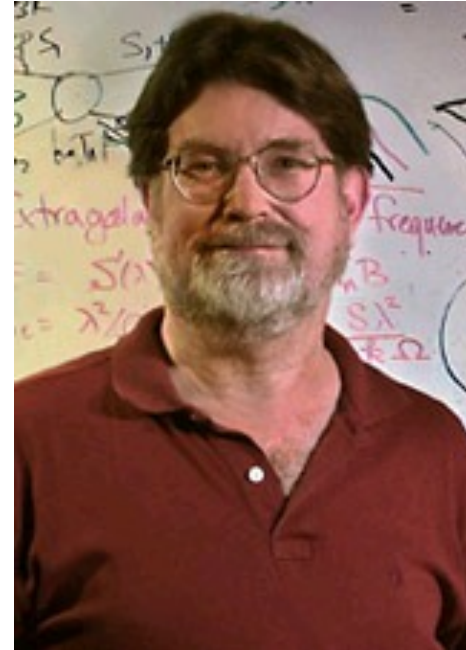
„Inventas vitam juvat excoluisse per artes”

Kik felfedezéseikkel jobbítják a világot

Fizikai Nobel-díj 2006



John C. Mather
(NASA Goddard Űrközpont)

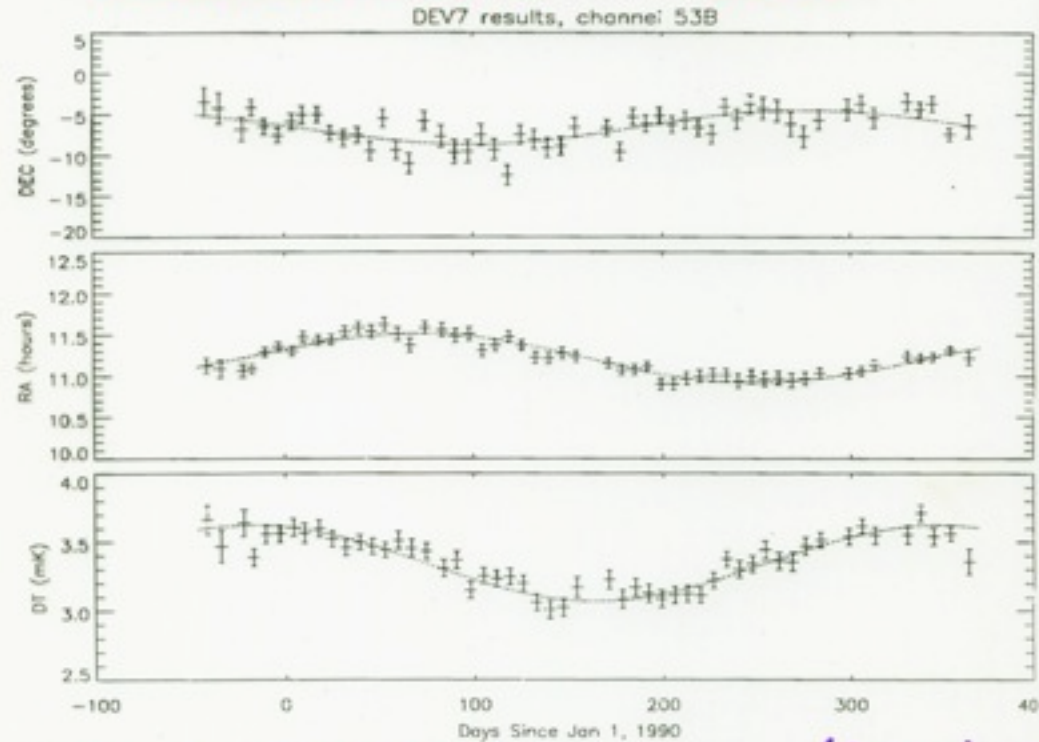


George F. Smoot
(Californiai Egyetem,
Berkeley)

„a kozmikus háttérsugárzás Planck-formájának és irányfüggésének felfedezéséért”

A COBE melléktermék:
És mégis mozog a Föld!

THE NEW AETHER: MEASURING THE EARTH'S MOTION w/COBE



YEARLY TEMP VARIATION:

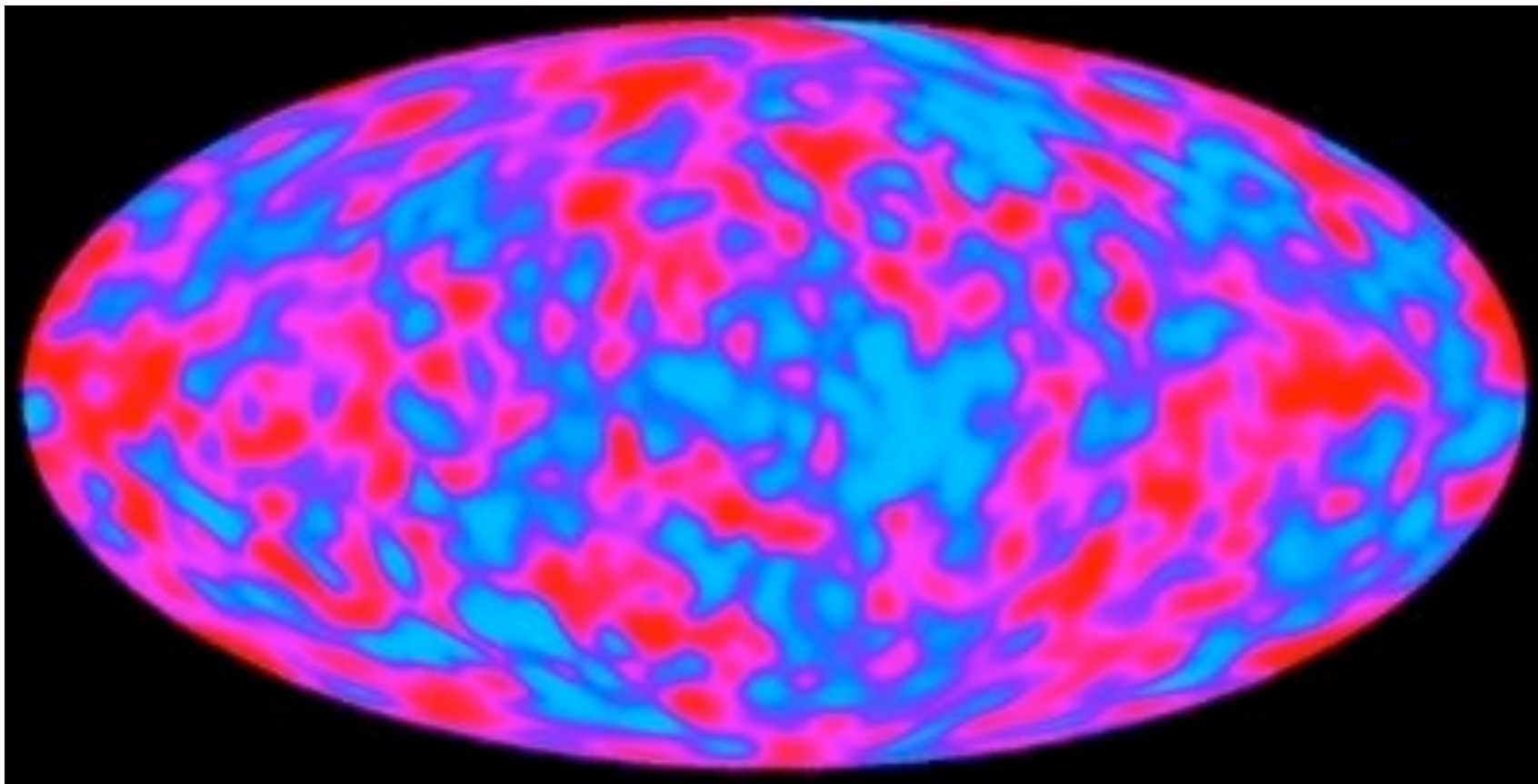
(G. Smoot et al
1991)

$$\Delta T = 0.275 \text{ mK} \sin \frac{2\pi t}{365 \text{ da}}$$



$$v_{\text{orbital}} = \frac{0.275 \text{ mK}}{2.74 \text{ K}} \times c \approx 30.1 \text{ km s}^{-1}$$

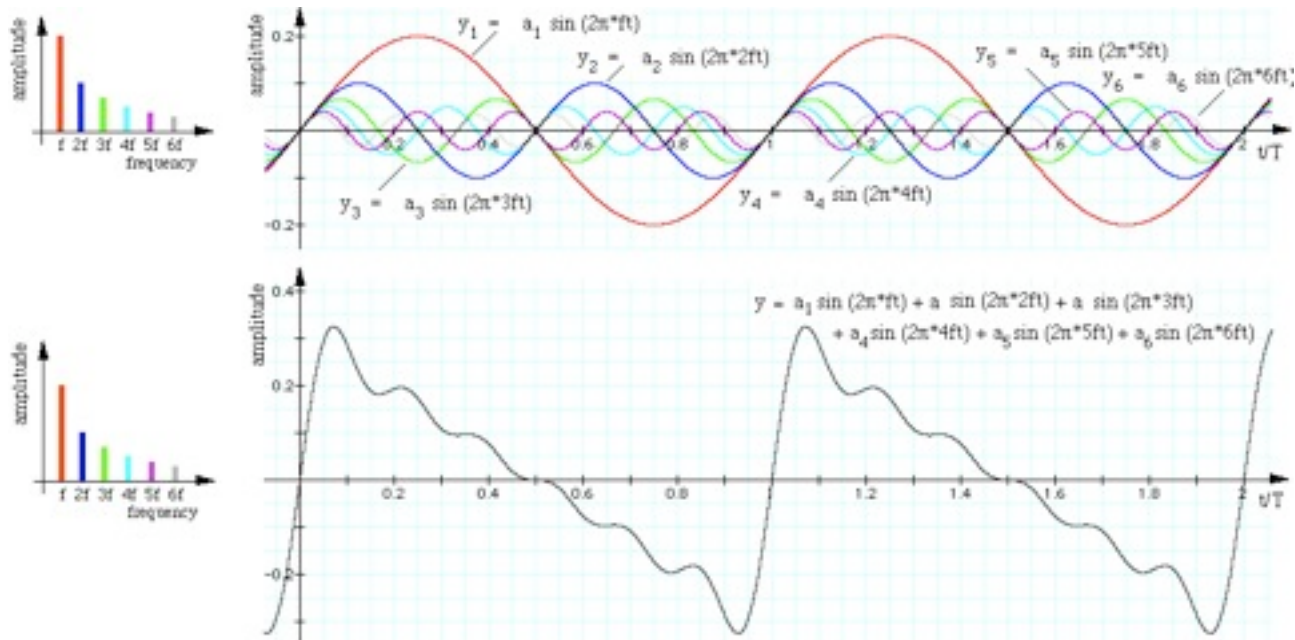
A COBE felfedezése



Hogyan lehet ezt a képet mennyiségileg megragadni?

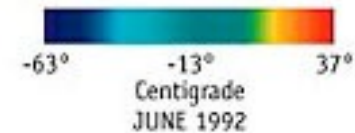
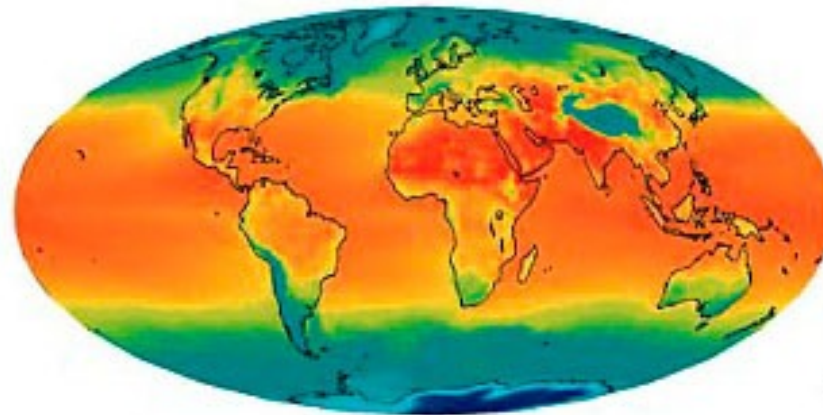
Kitérő: egy kis hangtan

- A hangokat három fizikai tulajdonsággal jellemezzük:
 - hangerősség \Leftrightarrow hangrezgések amplitudója
 - hangmagasság \Leftrightarrow hangrezgések frekvenciája
 - hangszín \Leftrightarrow spektrum (az előző kettő) \Rightarrow

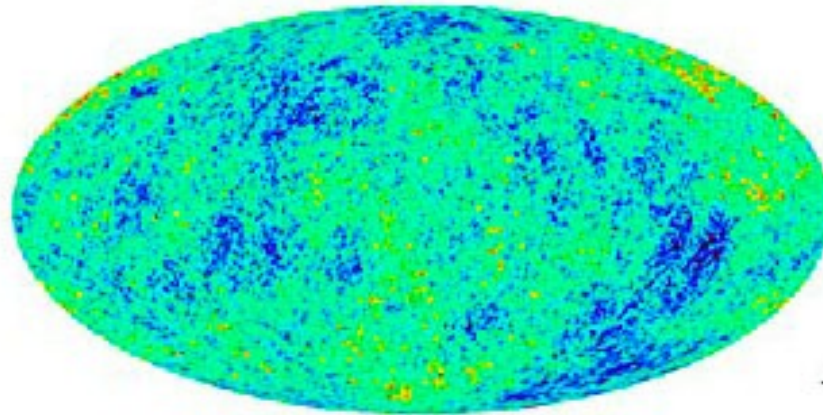


A WMAP hőmérsékleti térképe

Föld

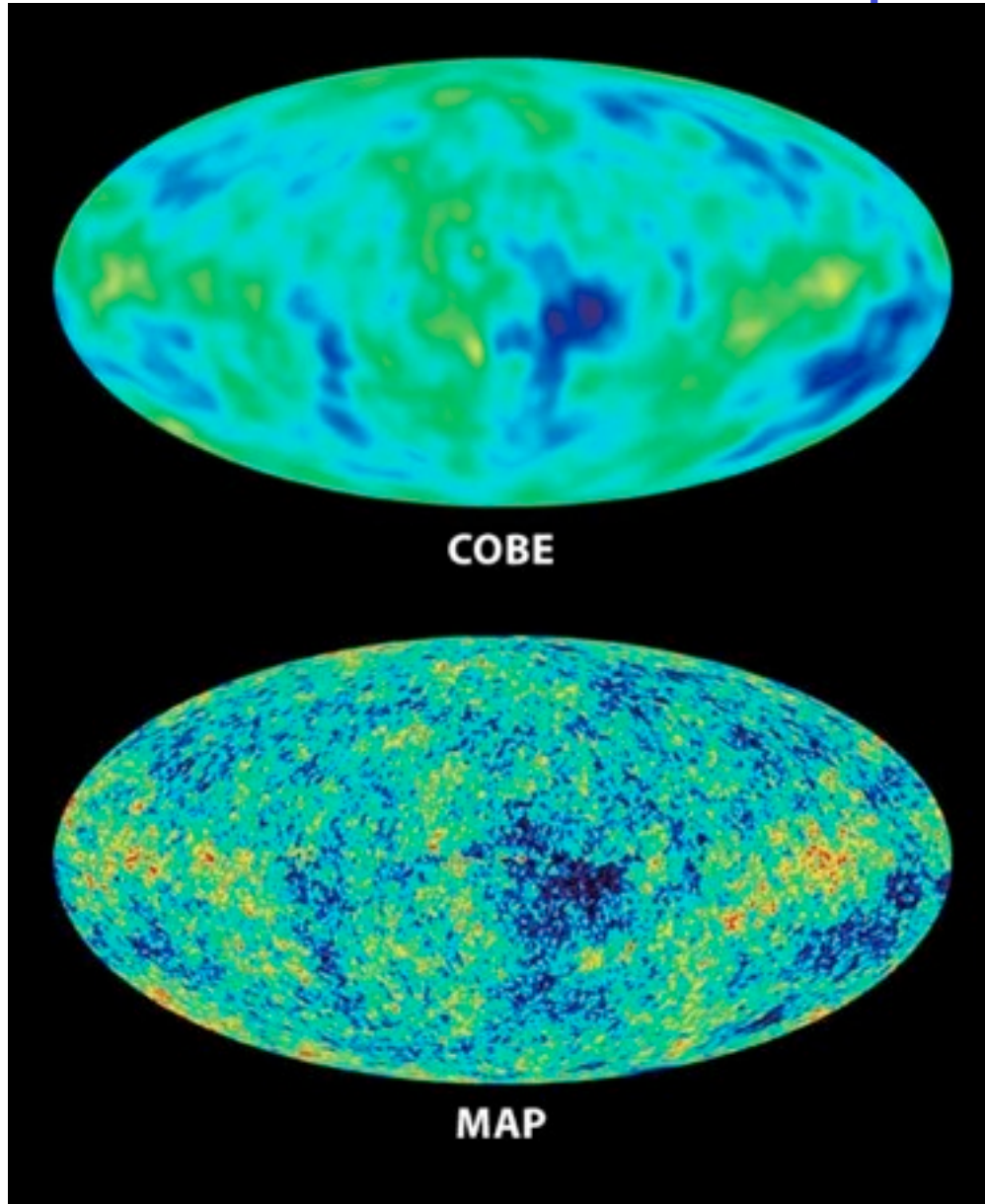


Világ-
egyetem



13 milliárd éve kezdte az útját a maradványsugárzás. Útja alatt a Világegyetem tágult, a hullámhosszak növekedtek, jelenleg a mikrohullámnál (~1mm) van a maximum.

A COBE és a WMAP térképe



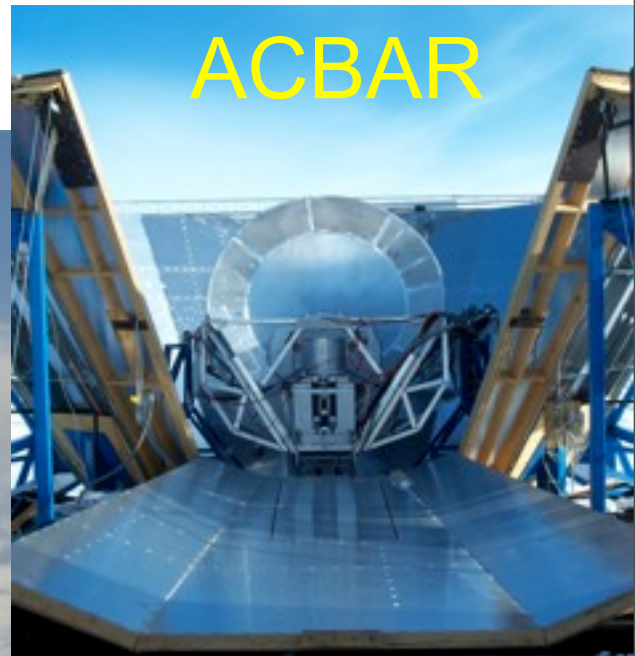
További kísérletek



DASI



BOOMERanG



ACBAR

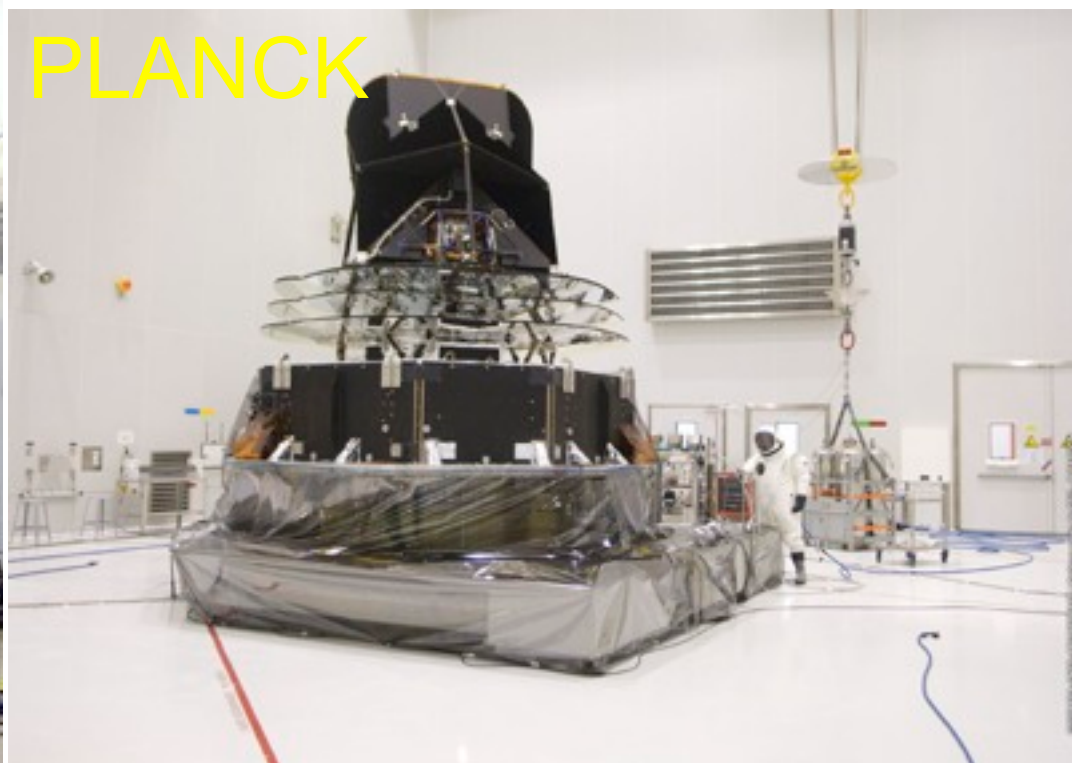


Maxima

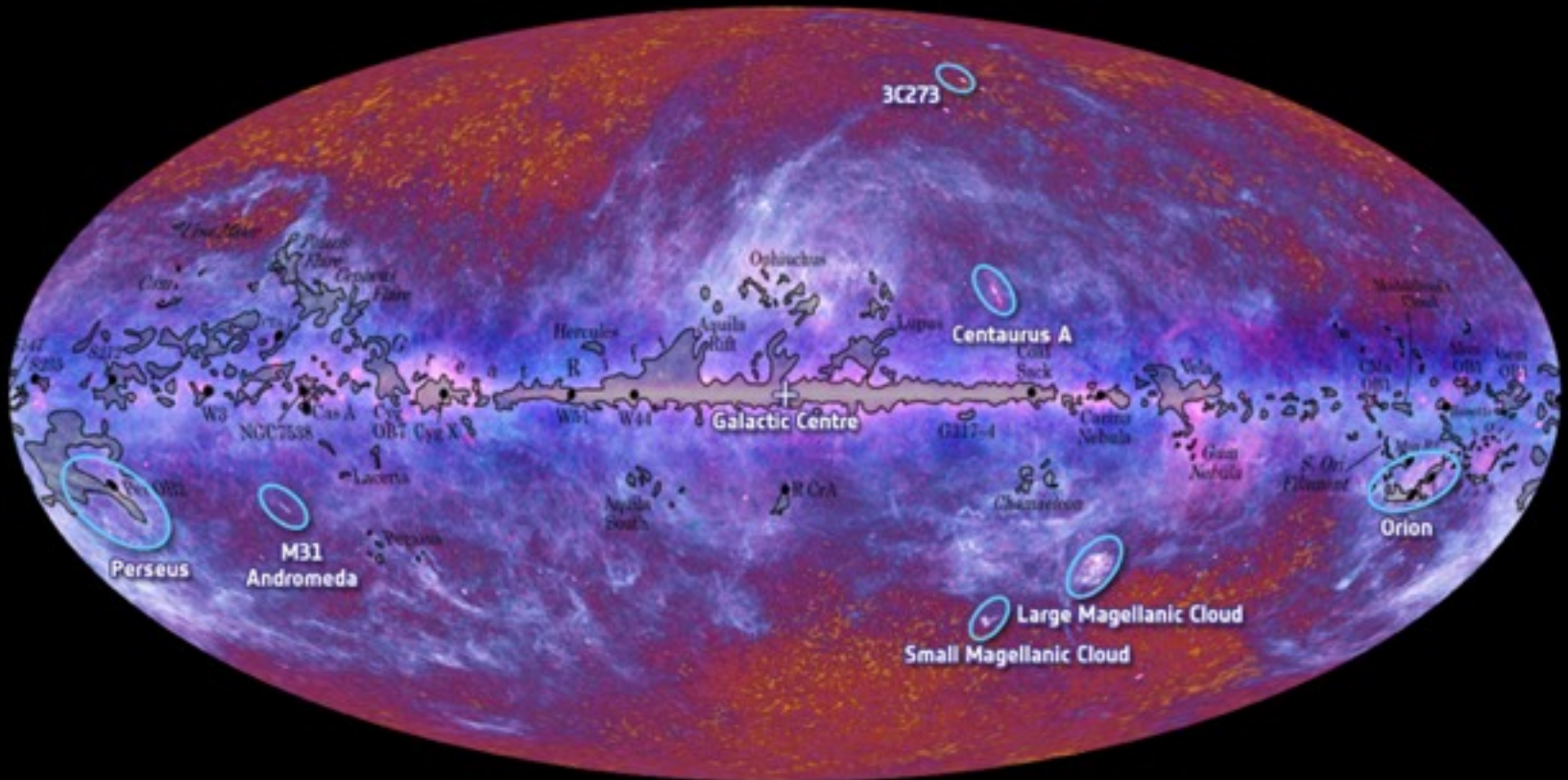


CBI

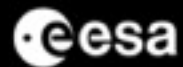
További kísérletek



(Első Planck égbolt)

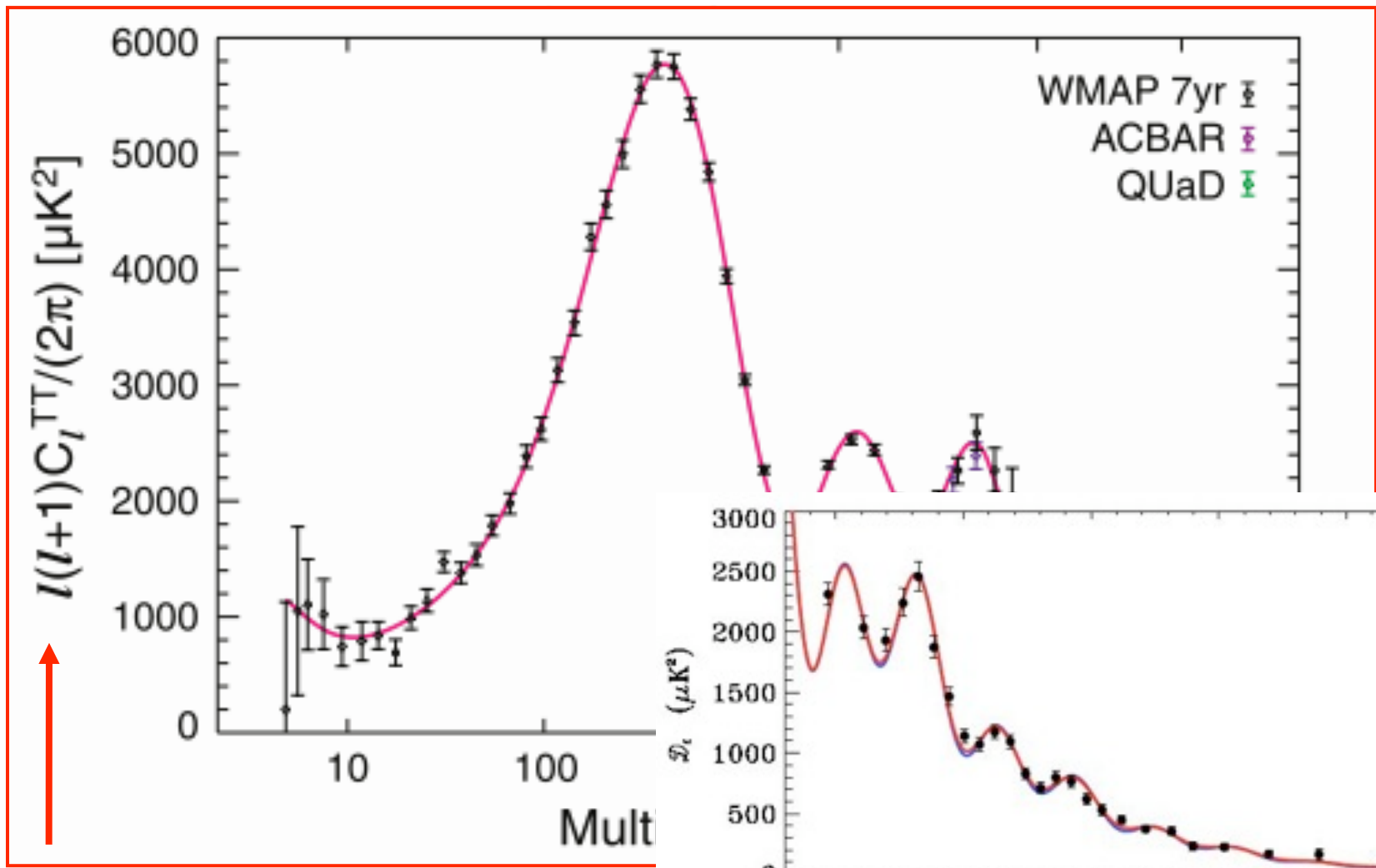


The Planck one-year all-sky survey



(c) ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

A kozmikus zene „hangszíne” (a háttérsugárzás hatványspektruma)

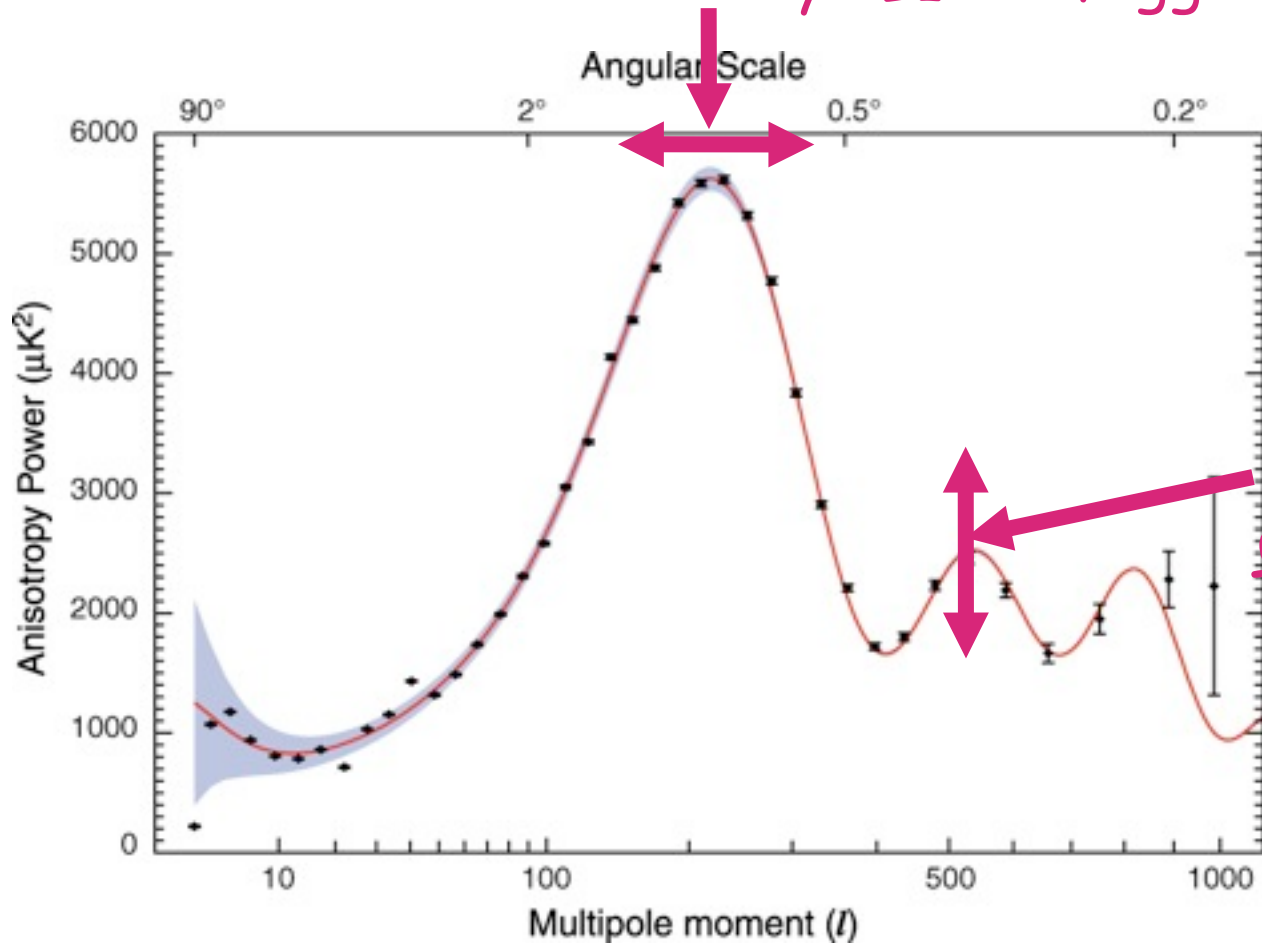


$$l \sum_m a_{lm}^2$$

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

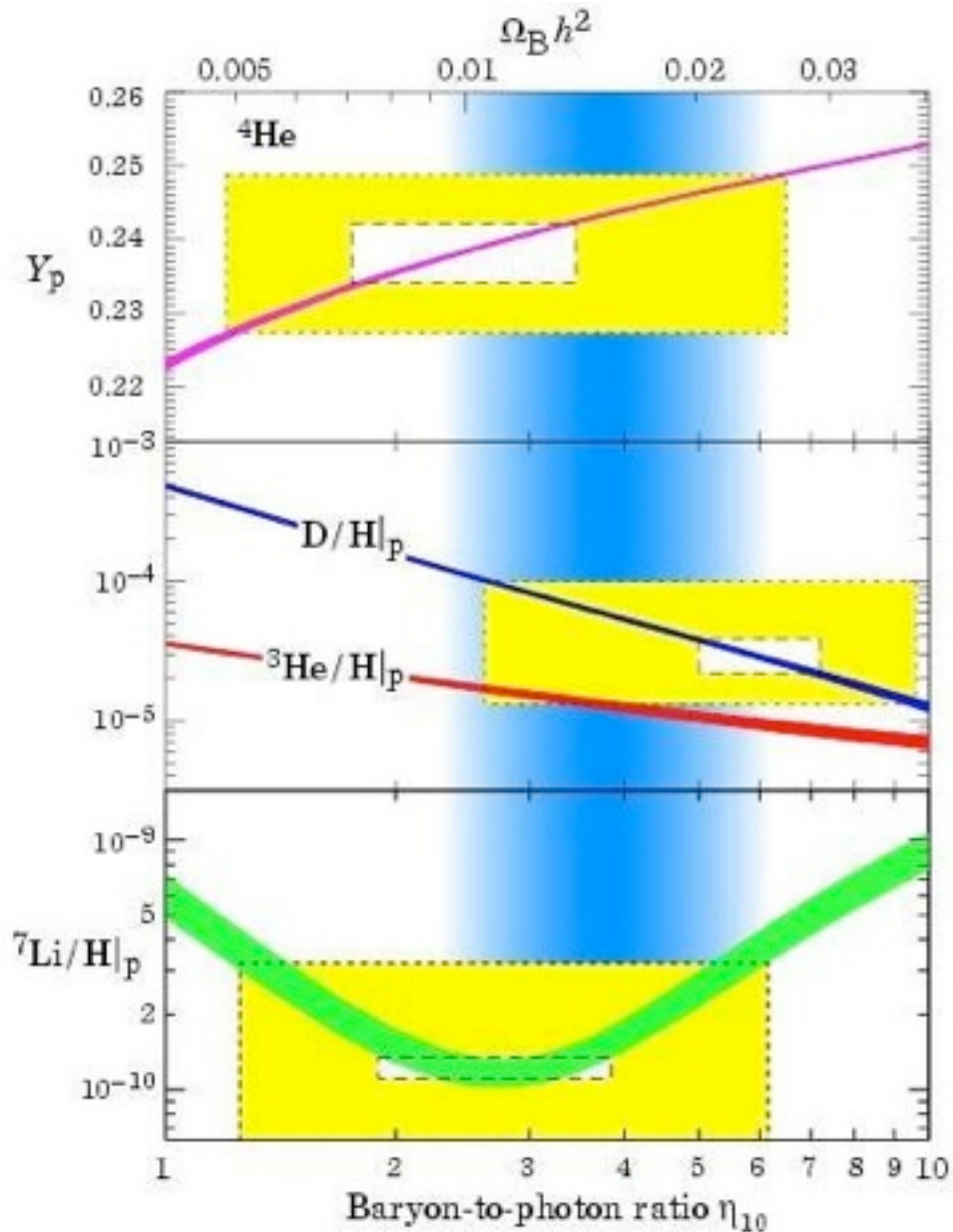
A hatványspektrumból nyerhető adatok

Az első csúcs helye Ω -tól függ

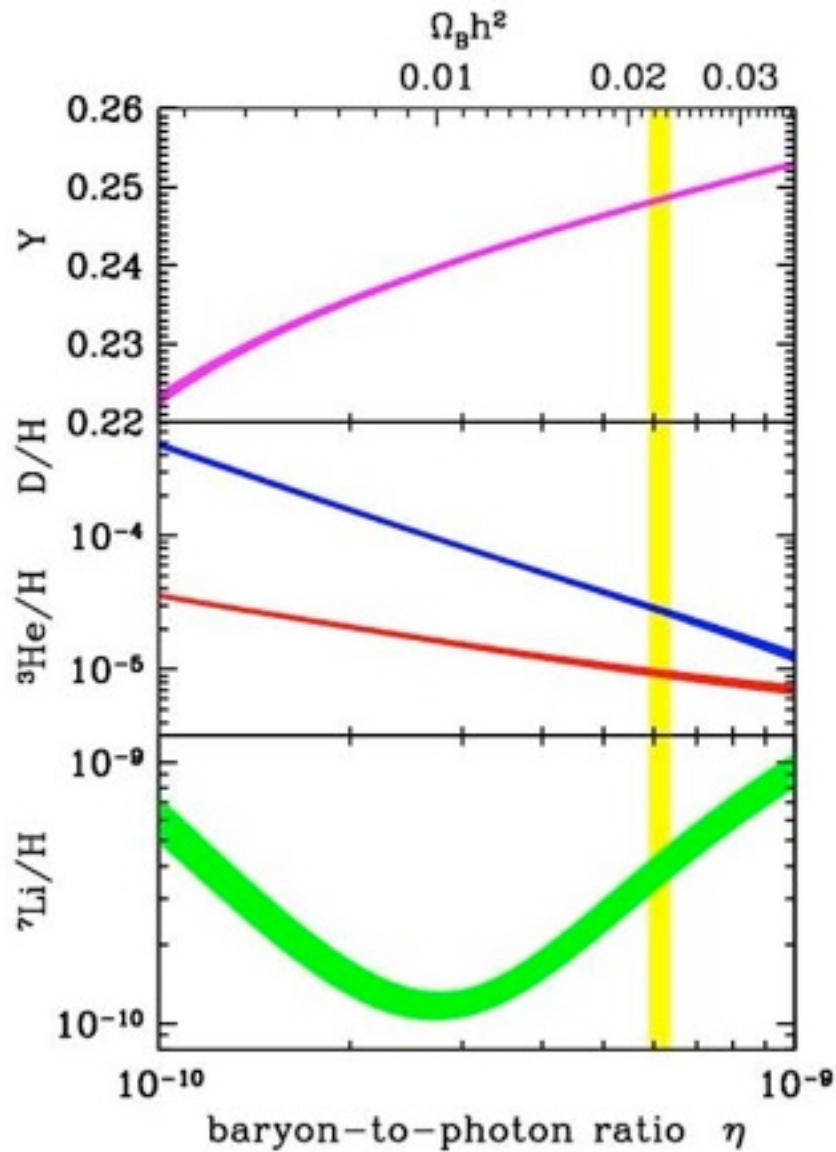


A magasság Ω_B függvénye

BBN jóslatok és a mérések: WMAP előtt



BBN jóslatok és a WMAP jóslat



$$\eta_{10} = 6,14 \pm 0,25$$

Hatványspektrumból nyerhető ismeretek

$$\Omega_B = 0.0456 \pm 0.0015$$

$$\Omega_C = 0.228 \pm 0.013$$

$$0.9821 < \Omega < 1.0081$$

⇒ Sötét anyag,

⇒ Sötét energia
is létezik!

+ további három paraméter modellekkel történő
összevetés alapján

Az EM plazma hasonlóan átlátszatlan, mint a felhő, amely szétszórja a Nap fényét



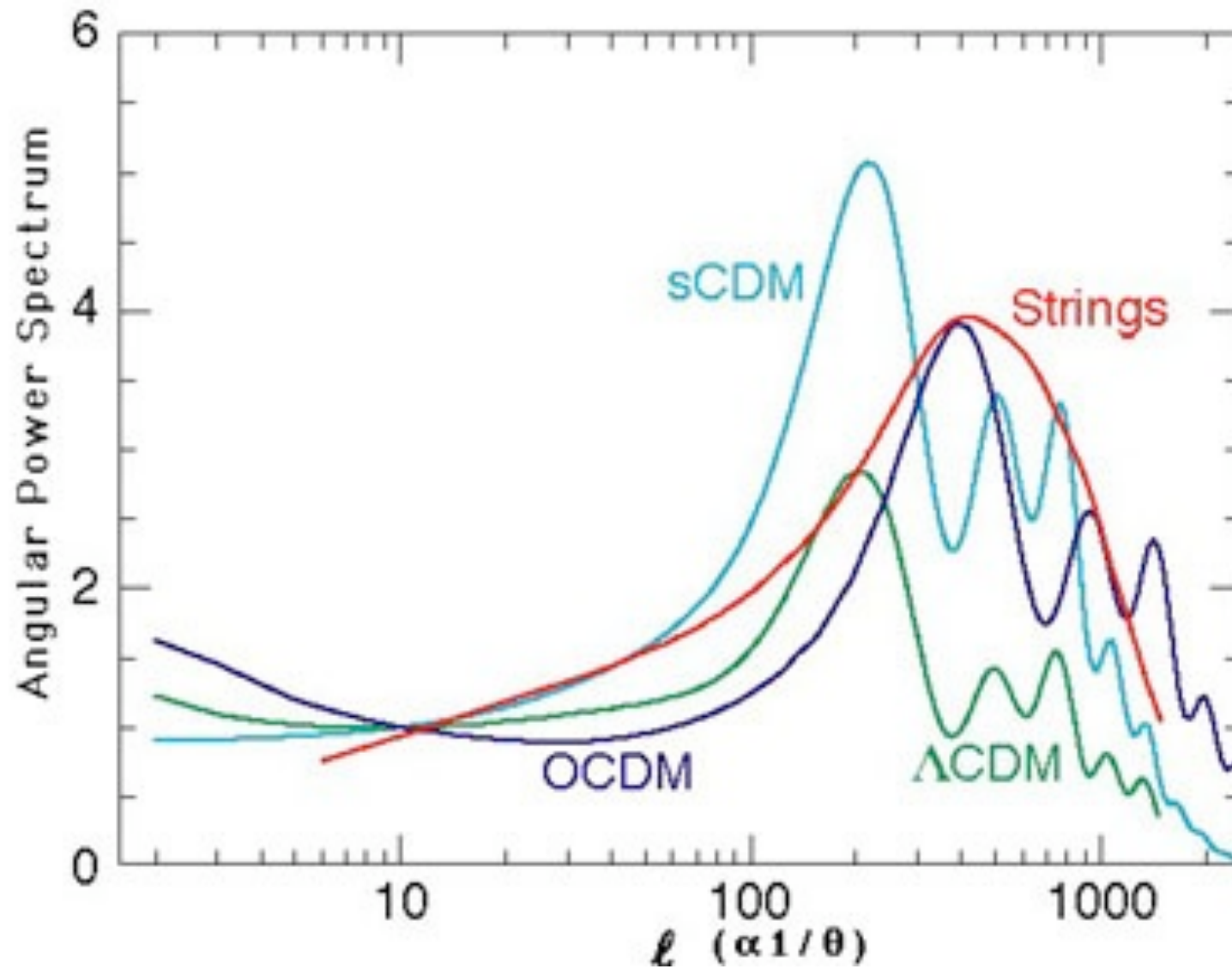
Hogyan „láthatnánk” az EM plazma mögé?

Modellt alkotunk, amelynek a mai VE-re vonatkozó jóslatait össze kell vetni a valósággal (így következtetett Peebles arra, hogy a VE-t EM sugárzás töltötte ki) - ez az **Ősrobbanás modellje** (nem robbanás!)

A VE „végtelen” sűrű, forró anyaggal kitöltött „kicsi térben” született, és a kezdőpillanat óta tágul. Kevéssel a születése után voltak kezdeti pillanatok, amikor a VE milliárdszor forróbb volt, mint most - ekkor még az atommagok sem lehettek stabil képződmények

A korai VE-ben lejátszódó folyamatokat az elemi részecskék fizikája írja le!

A kozmikus zene „hangszíne”
(a háttérsugárzás hatványspektruma)



Kitérő: számtan Csaba kedvéért

$$\begin{array}{l} \Omega = 1 \text{ esetén:} \\ \text{Hubble-törvény:} \\ \text{Előző oldaról:} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho \\ \dot{R} = HR \\ \rho \propto R^{-n} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$n \neq 0: \dot{R} R^{\frac{n}{2}-1} = \frac{2}{n} \frac{d}{dt} \left(R^{\frac{n}{2}} \right) = \text{const} \Rightarrow R \propto t^{\frac{2}{n}}, \quad H \propto \frac{2}{nt}$$

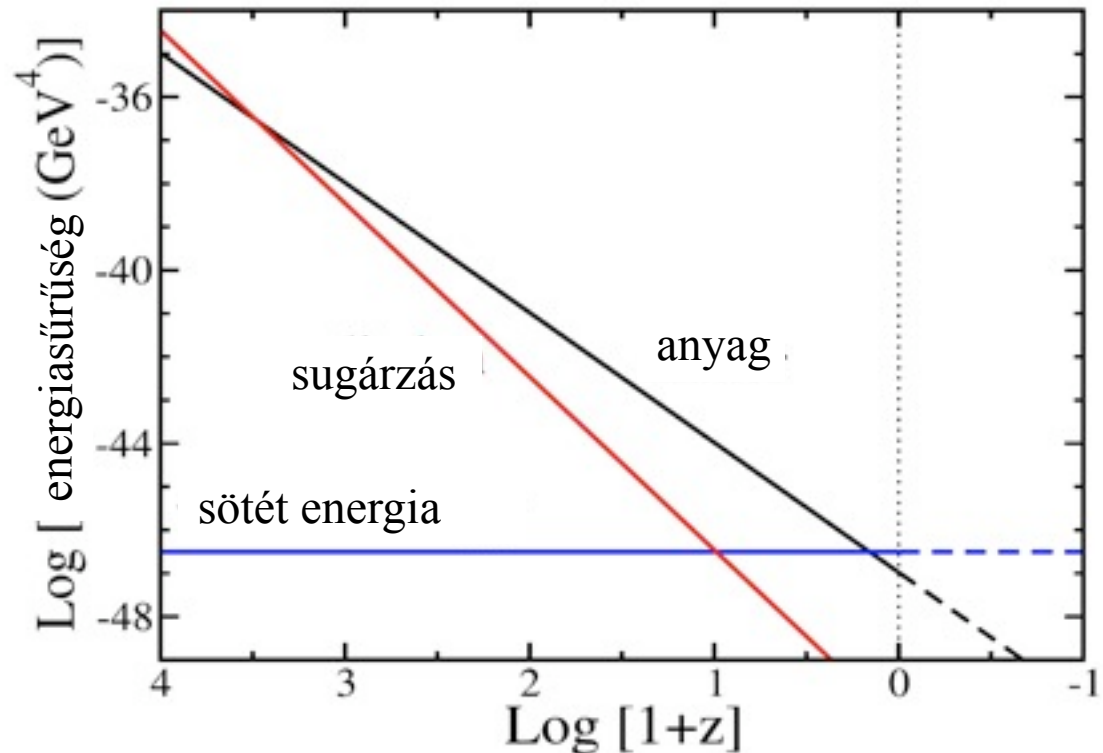
$$n = 0: \dot{R} = HR \Rightarrow R \propto e^{Ht}, \quad H = \text{const}$$

A VE történetének három szakasza

1. sugárzási szakasz
 $R \propto t^{1/2}$, $H \propto 1/(2t)$,
termosztát, $t < 10^4$ év

2. anyagi szakasz
 $R \propto t^{2/3}$, $H \propto 2/(3t)$,
csomósodás, $(10^4 < t < 10^{10})$ év

3. sötét energia
 $R \propto e^{Ht}$, $H = \text{const}$,
gyorsuló tágulás,
 $t > 10^{10}$ év



Mi lehet a sötét anyag?

VE-ben keressük:

- Barionikus
 - bolygók
 - fehér törpék
 - MACHO-k (Massive Compact Halo Object): barna, fekete törpék, neutroncsillagok, fekete lyukak
 - gázfelhők

atommagszintézis, CMB:

$$\Omega_B \sim 0,04 < \Omega_{DM} \sim 0,22$$

Netalán a gravitáció módosul nagy skálán?

Laboratóriumban keressük:

- Nem barionikus (ismeretlen), gyengén hat kölcsön a barionikus anyaggal
 - „forró” (közel fénysebességű, HDM): neutrínók (kevés)
 - „hideg” (lassú, CDM): Weakly Interacting Massive Particle (WIMP)

Részecskefizikusok kedvence, de egyelőre nem sikerült találni

HSA (CDM) részecskejelöltek (WIMPEk)

- Szükséges egy kétértékű megmaradó mennyiség (D-szimmetria):

- $D = +1$ SM részecskék esetén

- $D = -1$ újfajta részecskék esetén

⇒ A legkönnyebb $D = -1$ részecske stabil

⇒ Ha elektromosan semleges, tömege $> GeV/c^2$ akkor lehetséges SA jelölt, pl.:

jelölt	spin	nyugalmi energia
inert Higgs	0	50 GeV
LSP (neutralínó)	$\frac{1}{2}$	10 GeV-10TeV
Kaluza-Klein részecske	$\frac{1}{2}$	TeV

Legnépszerűbb WIMP: LSP

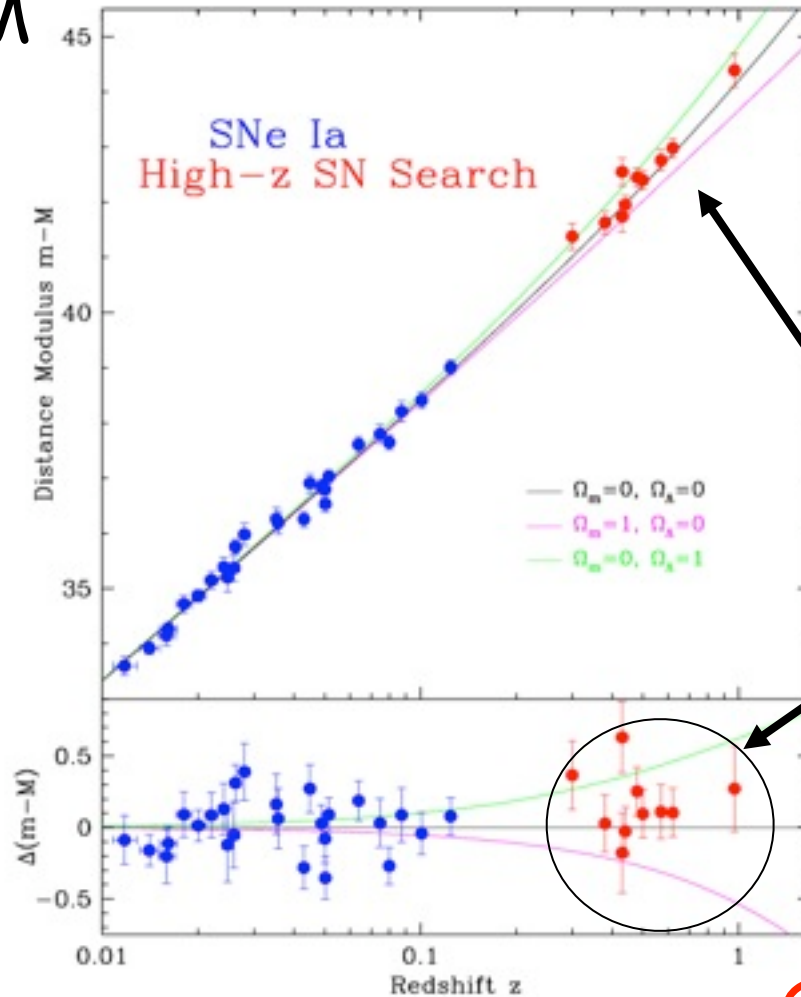
- $D = R = (-1)^{3B+2S+L}$ **R-paritás**
 - $R = +1$ SM részecskékre
 - $R = -1$ s-részecskékre
- Ha a legkönnyebb s-részecske semleges (neutralínó), akkor SA jelölt
- **Az ilyen s-részecske közvetve felfedezhető az LHC-n** (hiányzó energia a jele)

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)

Hubble törvény kísérleti ellenőrzése

$m-M$



Sötét energia?

Megerősíti,
 $\Omega - \Omega_m - \Omega_B \approx 0.73$

vöröseltolódás

Megválaszolatlan kozmológiai kérdések

... amelyekre a részecskefizika adhat választ

- Miért kritikus a sűrűség?
- Honnan származik az anyag?
 - Kezdetben anyag és antianyag feltehetően ugyanannyi volt. Valami miatt ez a szimmetria megsérült. A VE tágulásával az anyag és antianyag EM sugárzássá alakult át, és visszamaradt egy kevés anyag (kb. egymilliárd fotonra jut egy proton)
- Mi a VE finomszerkezetének forrása?
- Mi a sötét anyag?
- Mi a sötét energia?

Köszönöm a figyelmet!

Magyar nyelvű letölthető irodalom (képek nélkül):
[http://kisfiz.phys.klte.hu/kisfiz/Trocsanyi/astro/
univerzum.pdf](http://kisfiz.phys.klte.hu/kisfiz/Trocsanyi/astro/univerzum.pdf)

Az előadás pdf anyaga megtalálható az Indicon:
<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=98898>

13+1. kérdés: **Mi előadásaim üzenete?**