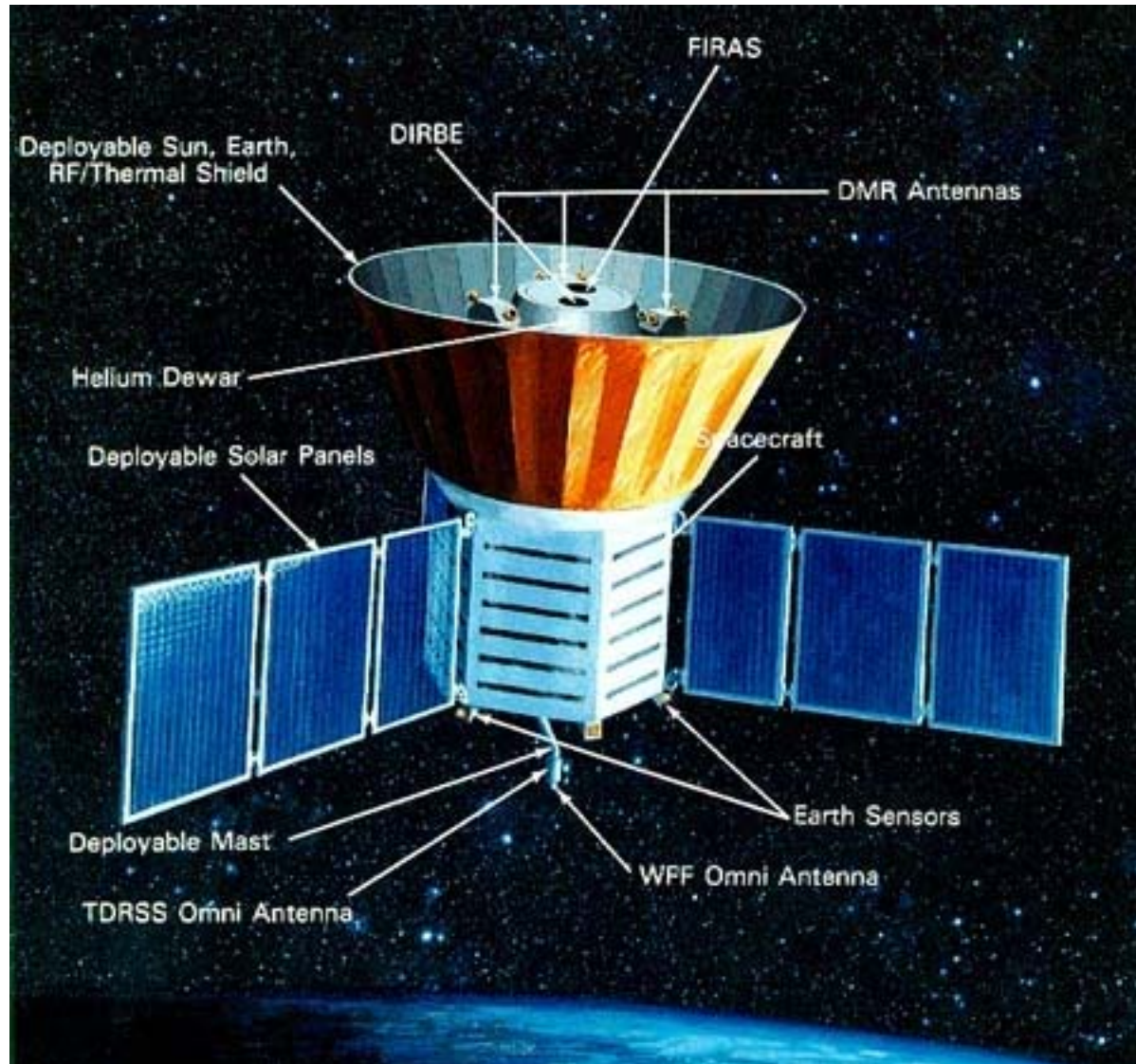


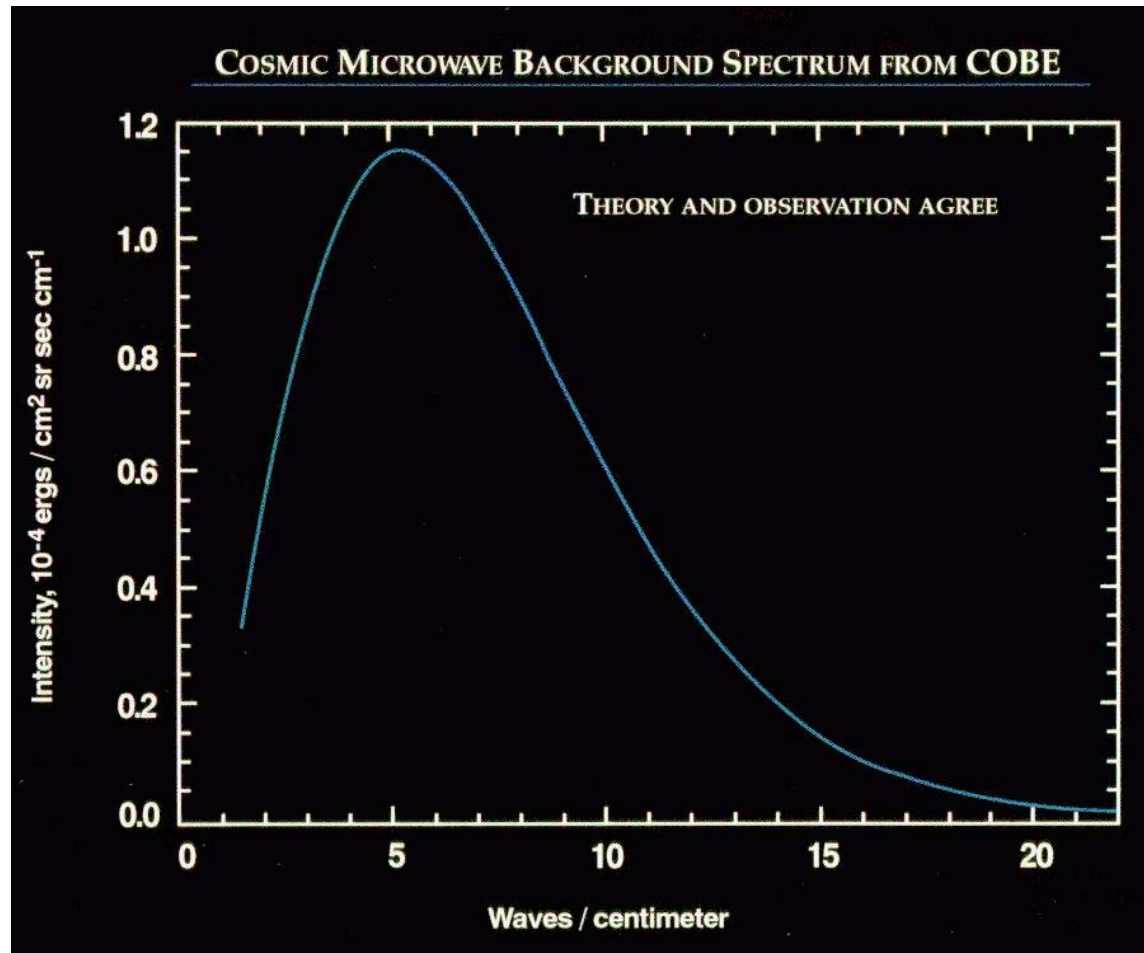
## A kozmikus sugárzás

- 1965: A. Penzias és R. Wilson érzékeny mikrohullámú antennája
  - iránytól
  - napszaktól, évszaktólfüggetlen elektromágneses sugárzást észleltek
- Az antenna hibáját kizárták
  - Mi lehet a titokzatos sugárzás forrása?
  - Penzias és Wilson mérése szerint a sugárzás hőmérséklete 3,5 K
- Mi már sejtjük, nekik P.J.E. Peebles sugallta a választ:
  - A VE-t az első perceiben elektromágneses sugárzás töltötte ki, ami azóta is ott van, csak hullámhossza a tágulás arányában megnőtt
  - a sugárzás hőmérséklete (?) 10K

# A Cosmic Background Explorer űrszonda

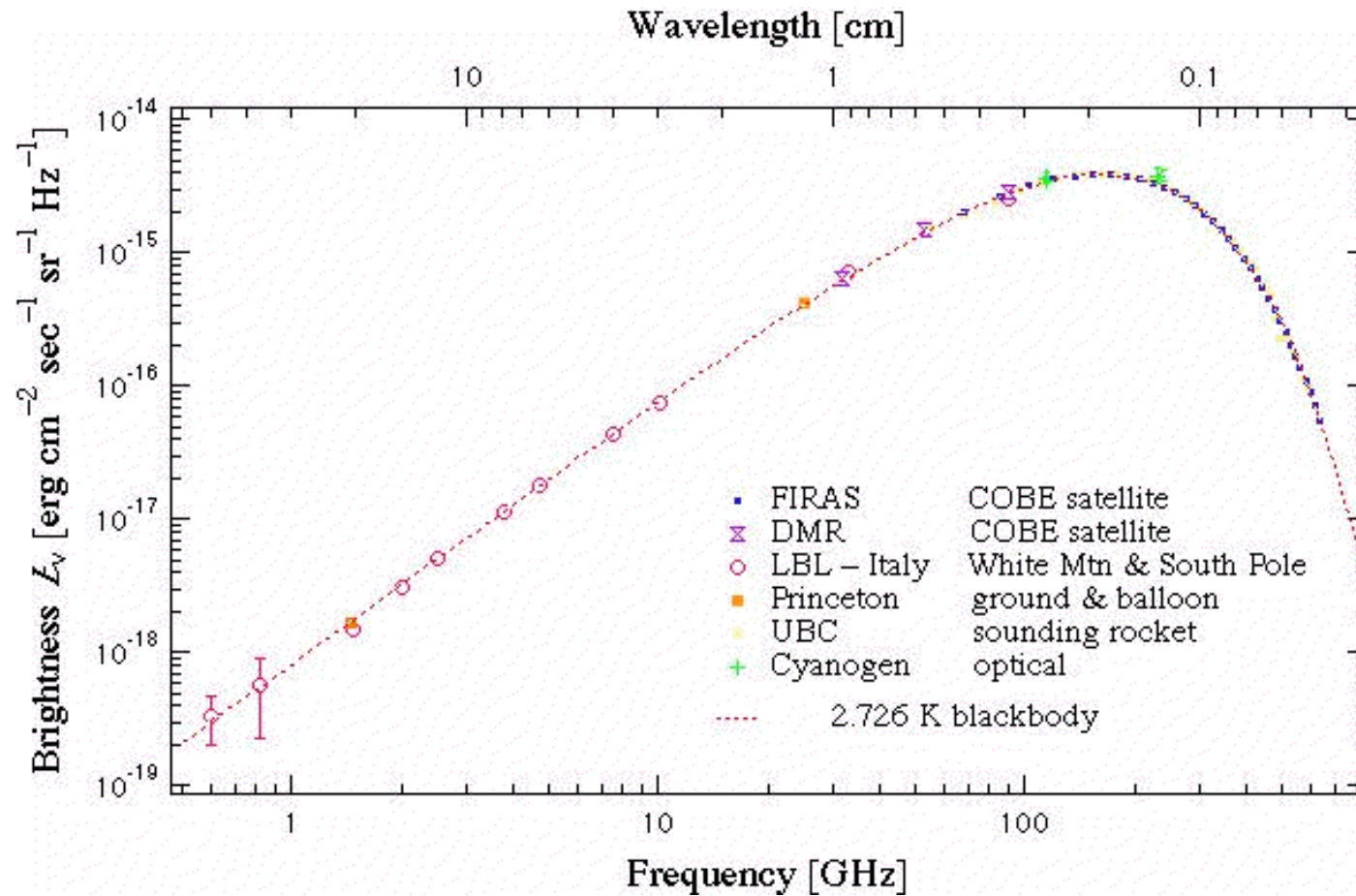


# A FIRAS (spektrofotométer a CoBE-n) spektrum



A valaha látott legtökéletesebb hőmérsékleti  
sugárzási spektrum

# A CMB spektrum



A valaha látott legtökéletesebb hőmérsékleti sugárzási spektrum

## A FIRAS (spektrofotométer a CoBE-n) spektrum

A hőmérsékleti sugárzás spektrumát a Planck-féle eloszlás írja le

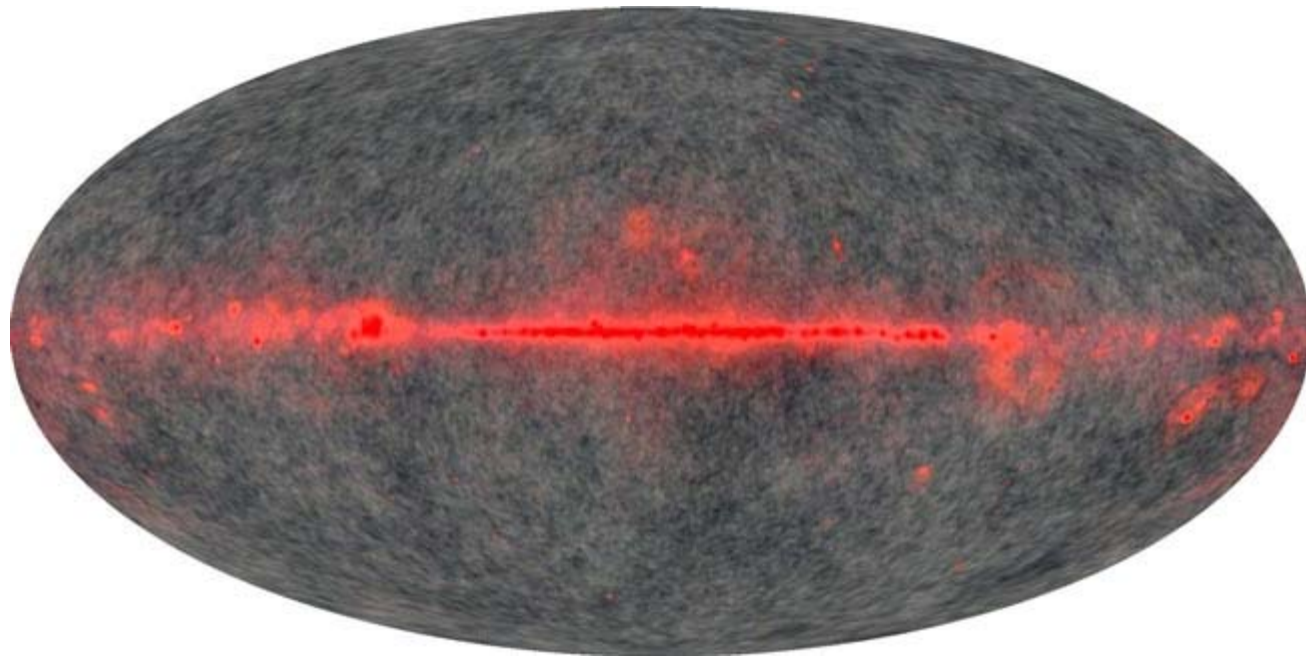
$$d\varepsilon(\nu, T) = 8\pi \frac{(kT)^4}{(ch)^3} \frac{x^3 dx}{e^x - 1}, \quad x = \frac{h\nu}{kT}$$

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

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

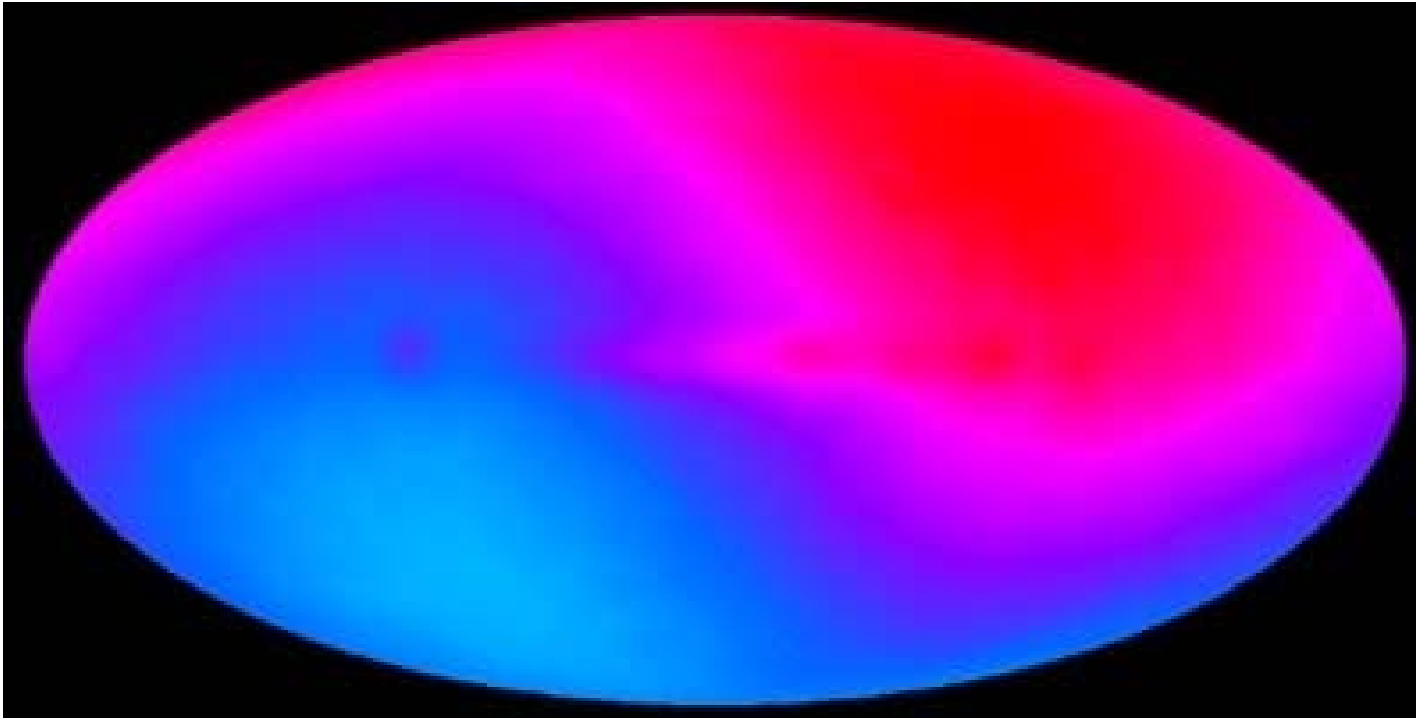
A foton/nukleáris részecske arány  $\eta = 10^{9\pm 1}$   
(jegyezzük meg!)

Izotrópna láttá-e a COBE VE-t?



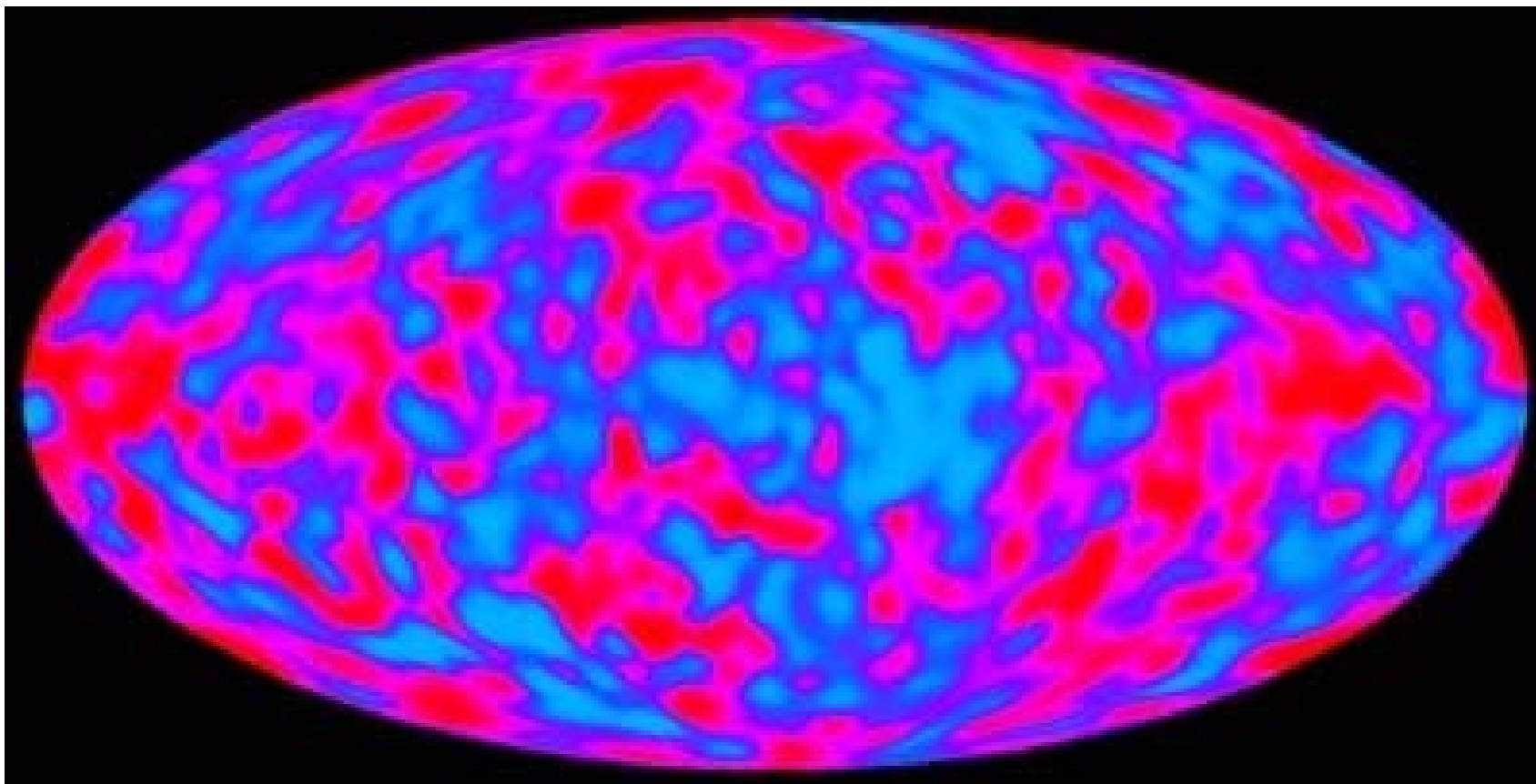
A Tejút hatását le kell vonni

Izotrópna láta-e a COBE VE-t?



A dipólus anizotrópia a Föld mozgásának  
következménye

## A COBE felfedezése



Hogyan lehet ezt a képet mennyiségileg megragadni?



Előbb azonban...

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



## Hogyan „láthatnánk” az EM plazma mögé?

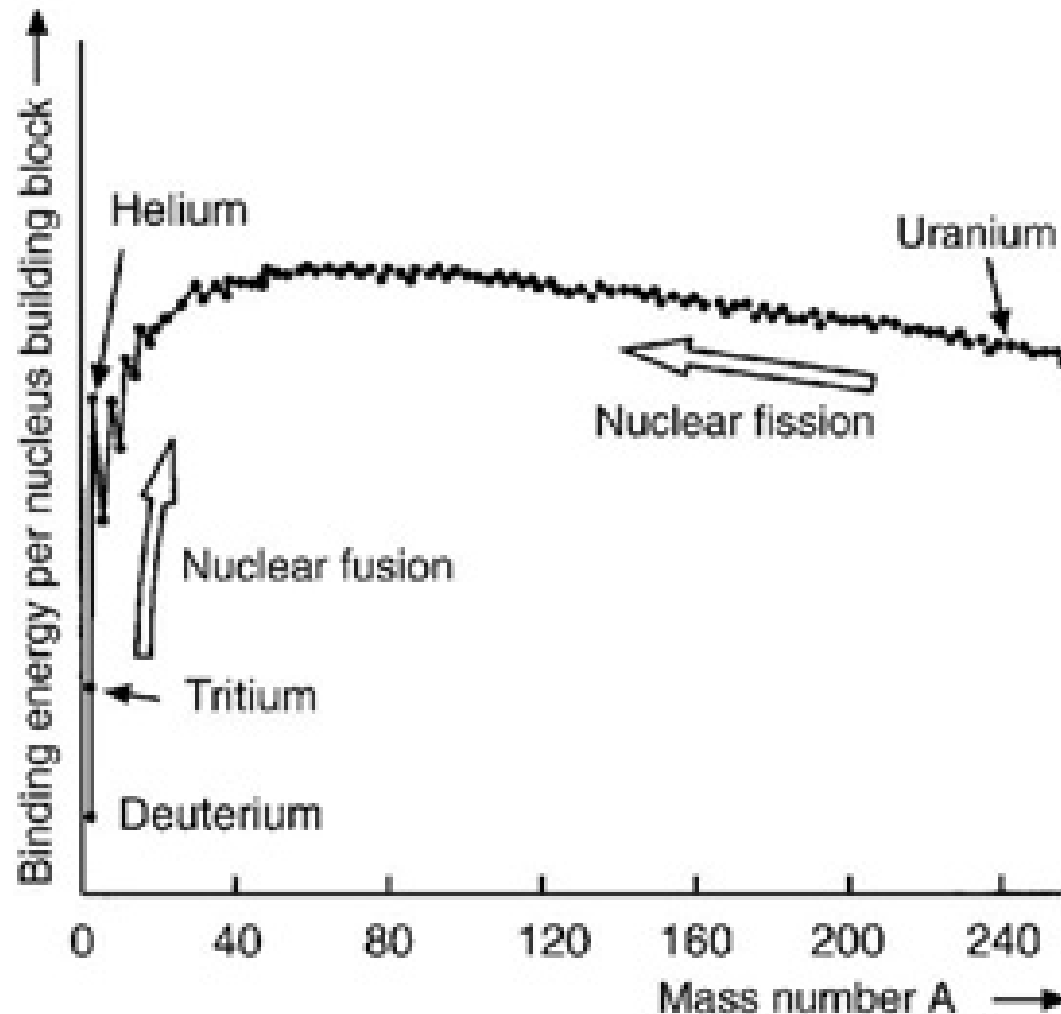
Modellt kell alkotni, amelynek a mai VE-re vonatkozó jóslatait össze kell vetni a valósággal (igy következtetett Peebles arra, hogy a VE-t EM sugárzás töltötte ki) - ez az **Ősrobbanás modellje**

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

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

# Mikor keletkeznek az atommagok?

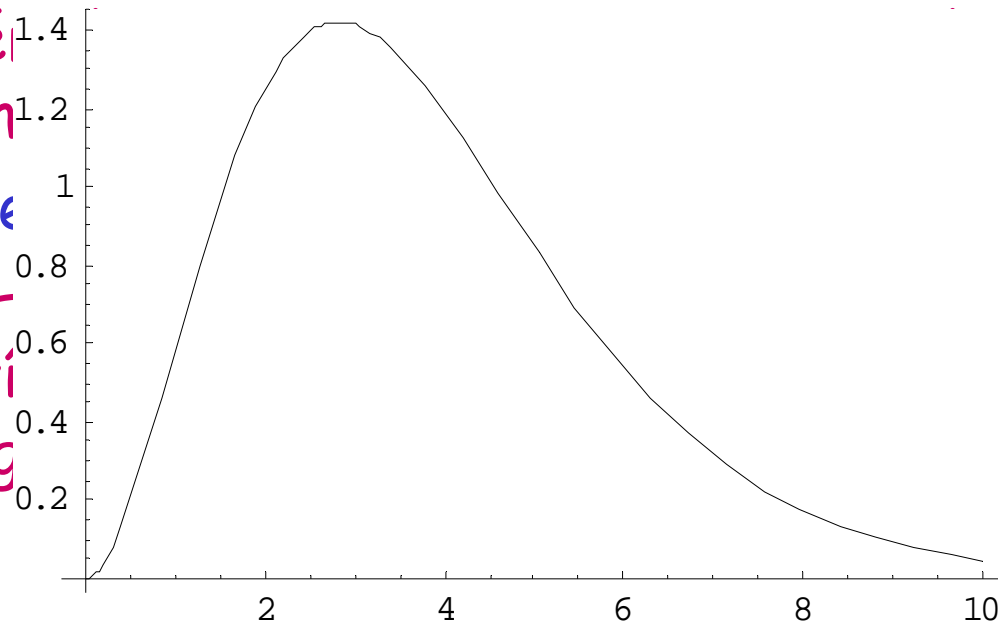
Az egy nukleonra eső kötési energia



# Könnyű elemek atommagjainak keletkezése

- $Z < 6$  rendszámú elemek: H [p, d=(pn), t=(pnn)], He [(ppn), (ppnn)], Li, Be, B akkor keletkeznek, amikor az EM plazmában található legnagyobb energiájú fotonok  $h\nu$  energiája kisebb, mint a keletkező deuteronok kötési energiája - ekkor  $T = 900$  MK; az érték  $\eta$ -tól függ

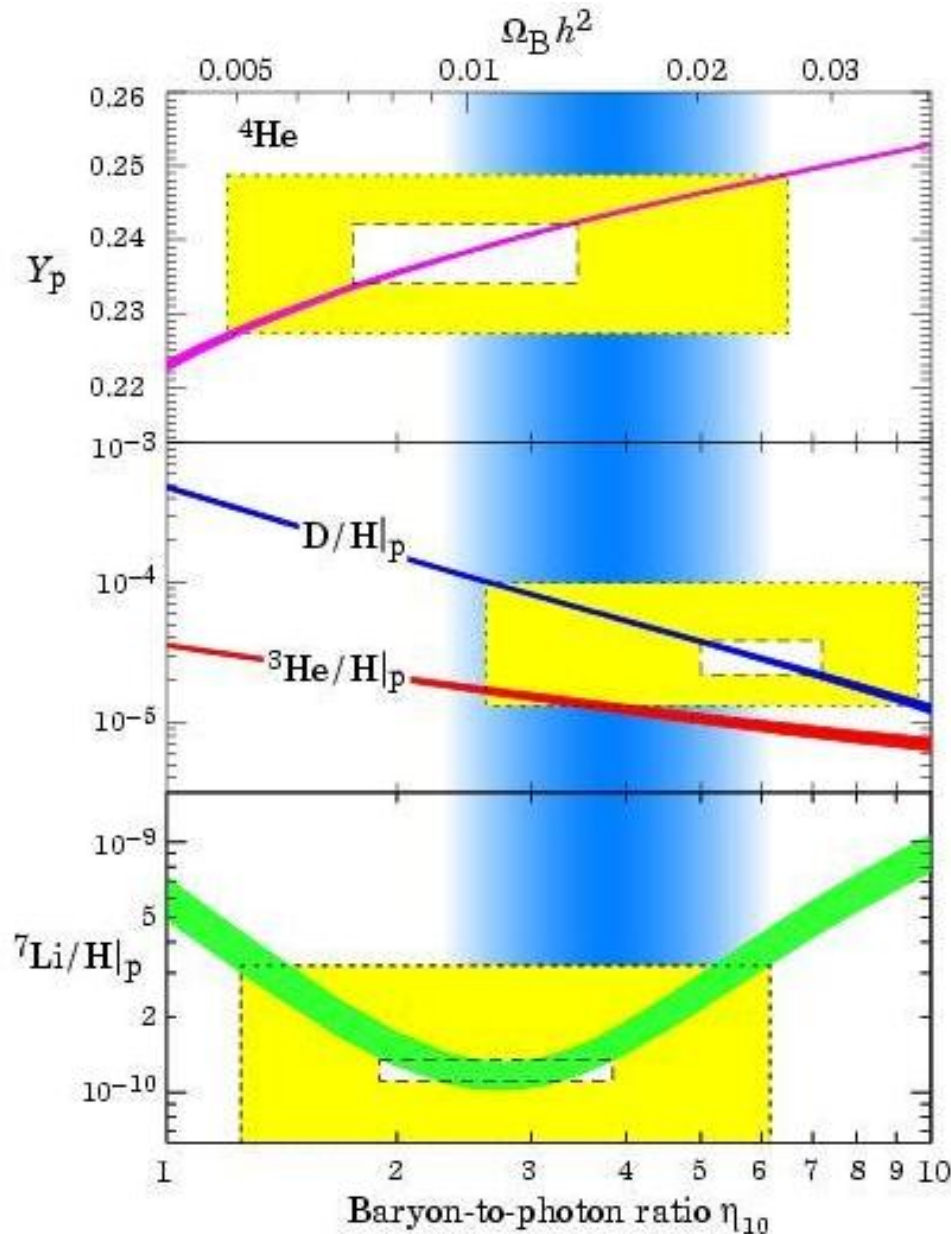
- A hőmérséklet viszonyítva a neutron keletkezéséhez
- Ösi d, t viszonyítva a megmag



t  
k)

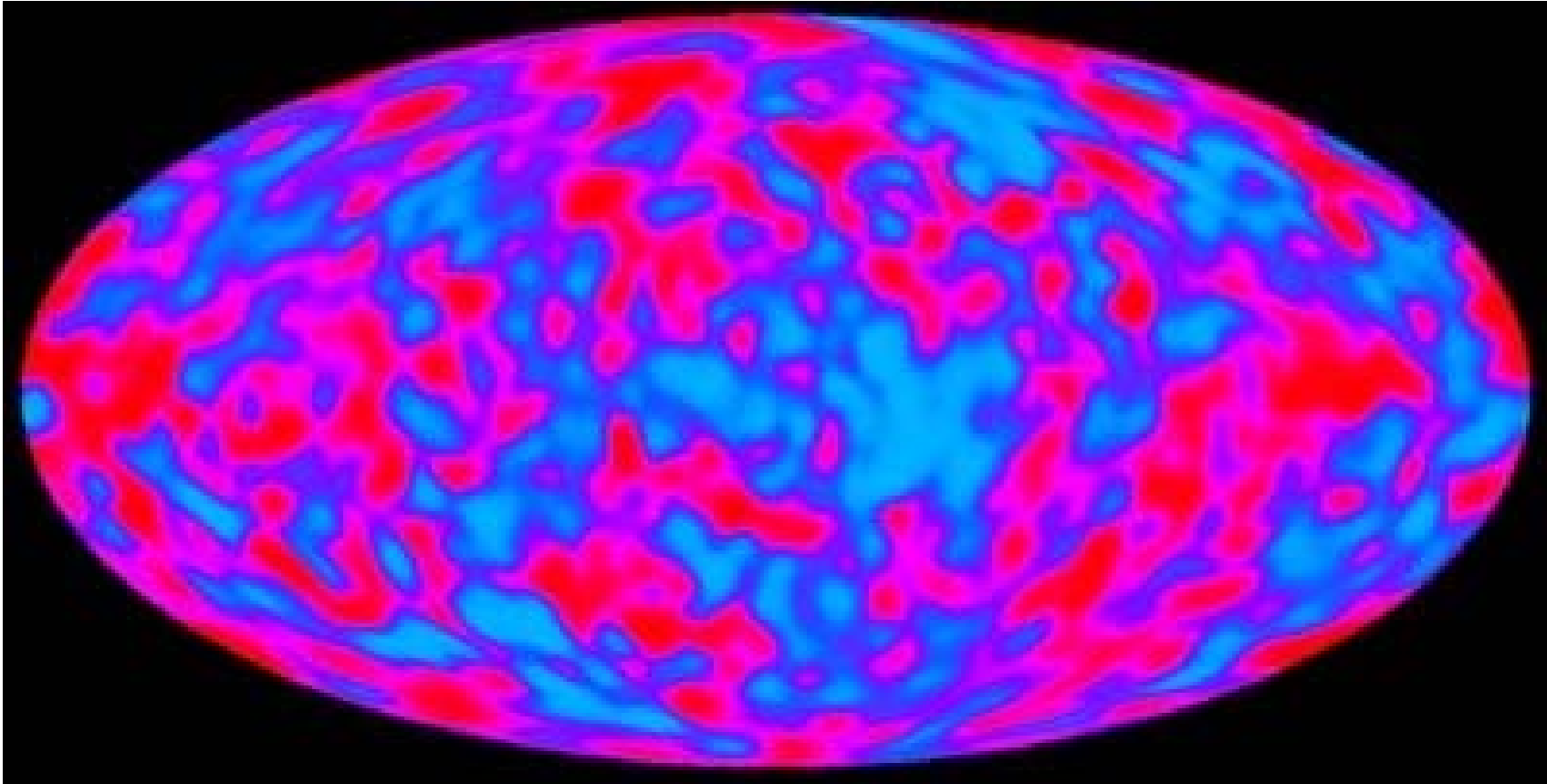
kkel

# A könnyű elemek előfordulási gyakorisága



... a pontosság nem nagyon meggyőző  
- lehet-e pontosabb mérési eredmény?

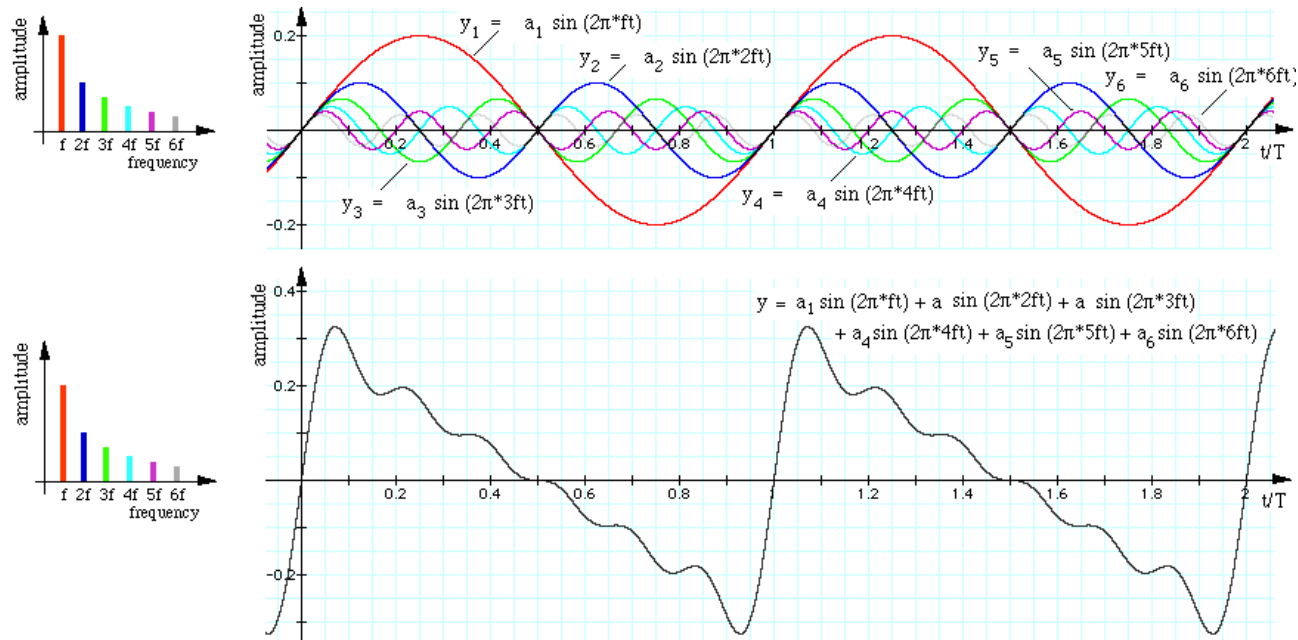
A választ a COBE felfedezése adja



Hogyan lehet ezt a képet mennyiségileg megragadni?

# Egy kis hangtan

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

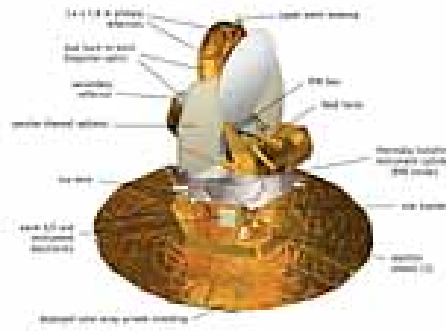


# Egy kis hangtan

- A hangokat három fizikai tulajdonsággal jellemezzük:
  - hangerősség \* hangrezgések amplitudója
  - hangmagasság \* hangrezgések frekvenciája
  - hangszín \* spektrum (az előző kettő)
- A COBE mérései nem elegendően pontosak \*  
**Wilkinson Microwave Anisotropy Probe**



Ch. Bennet

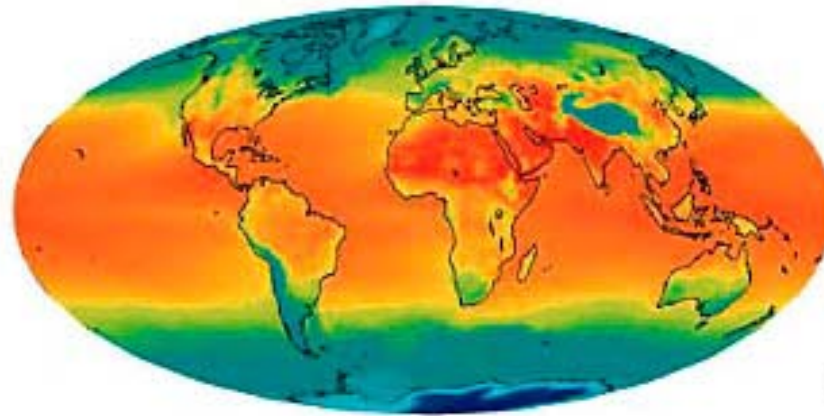


June 30, 2001

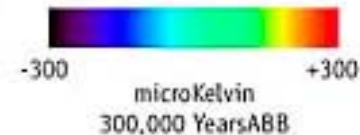
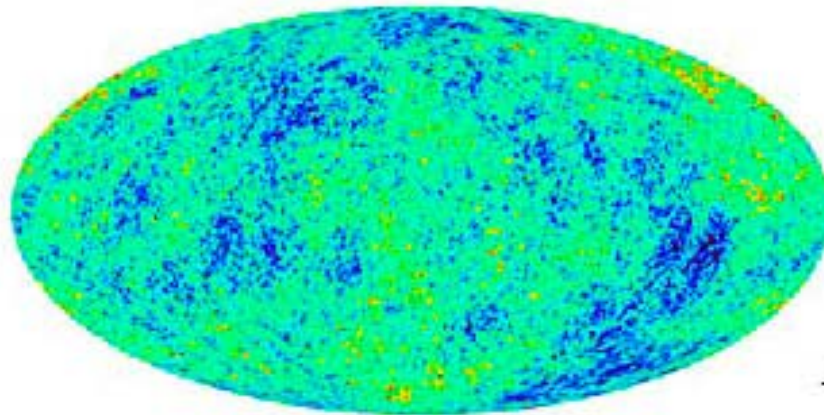


# A WMAP hőmérsékleti térképe

Föld

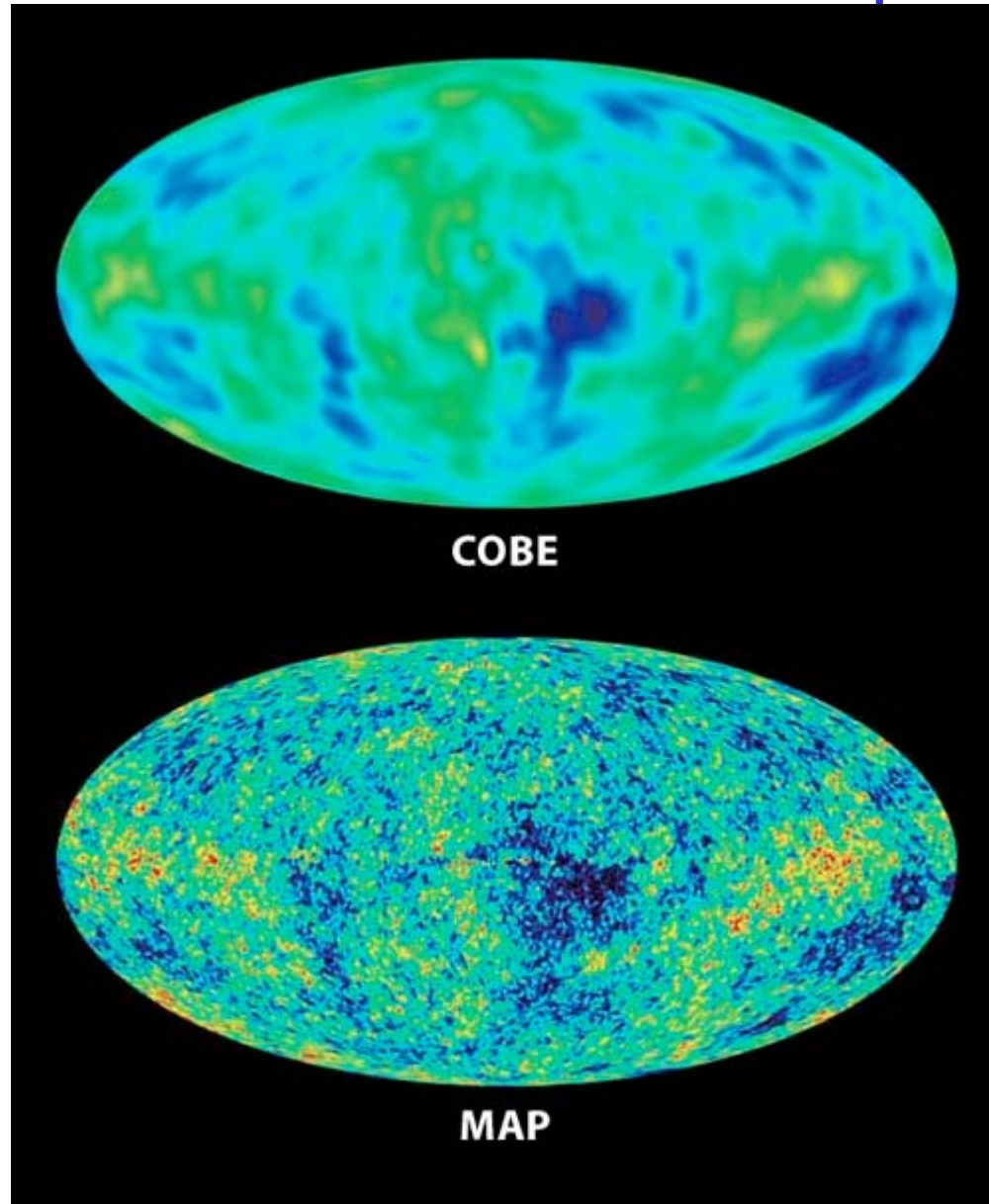


Világ-  
egyetem



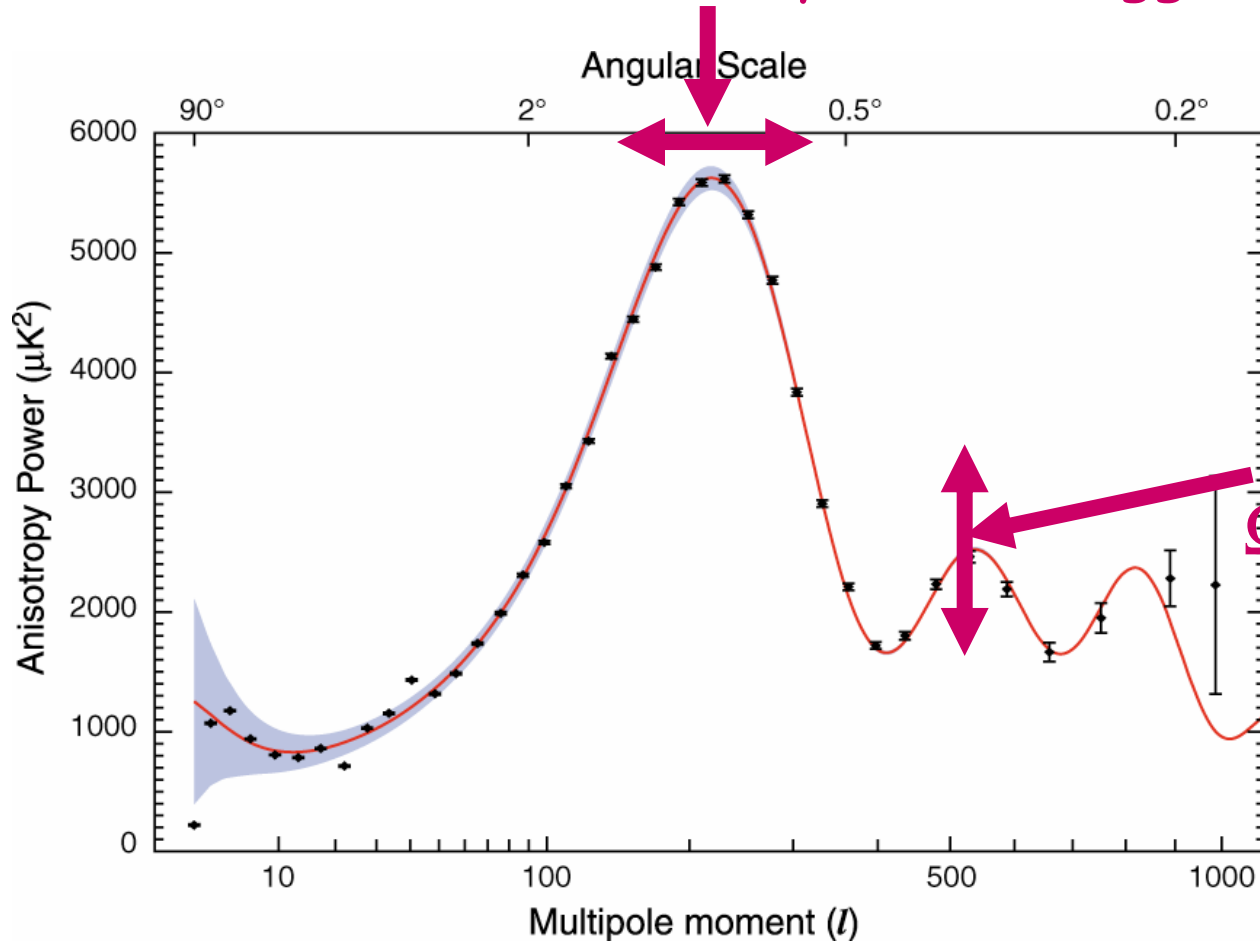
13 milliárd éve kezdte az útját a maradványsugárzás. Útja alatt a Világegyetem tágult, a hullámhosszak növekedtek, jelenleg a mikrohullámnál (néhány cm) van a maximum.

## A COBE és a WMAP térképe



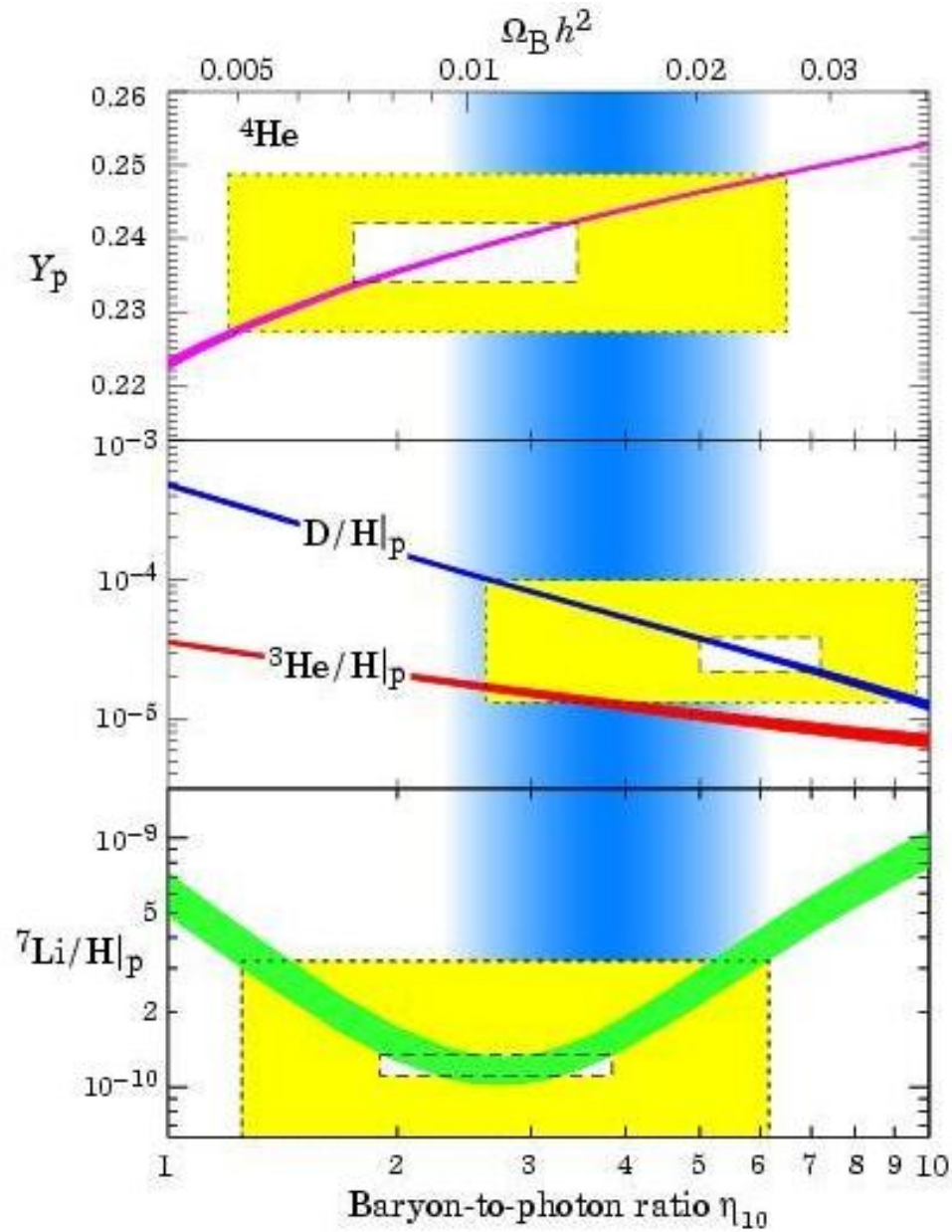
A kozmikus zene „hangszíne”  
(a háttérsugárzás hatványspektruma)

Az első csúcs helye  $\Omega$ -tól függ

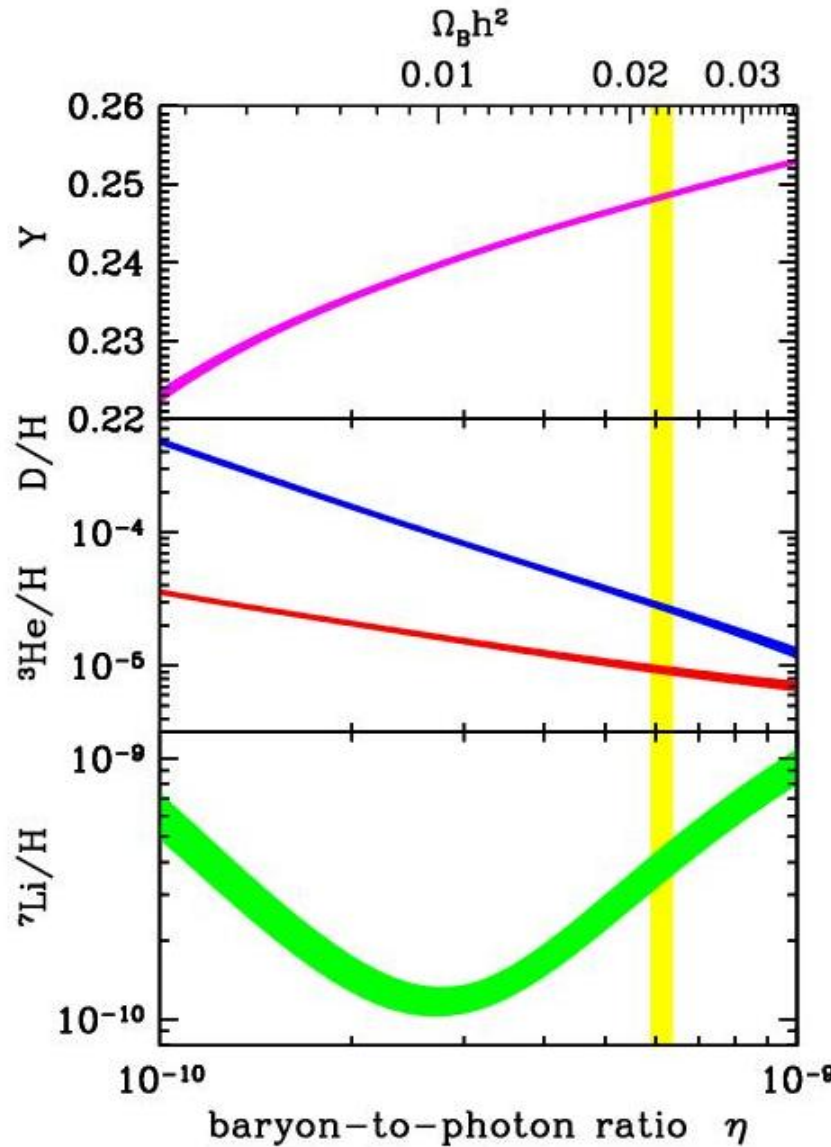


A magasság  
 $\Omega_B$  függvénye

# BBN jóslatok és a mérések: WMAP előtt



# BBN jóslatok és a WMAP jóslat



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

$$\Omega_B = 0,0432 \pm 0,0018$$

$$\Omega_{\text{lum}} = 0,0033$$

$$\Omega_m = 0,25$$

$$\Omega = 1$$

⇒ Sötét anyag,  
⇒ Sötét energia  
⇒ is létezik!

# Részecskefizikai kapcsolat: A háromféle neutrínó


- A VE tágulási sebességét az energiasűrűség szabja meg:  
több részecskefajta  $\rightarrow$  nagyobb energiasűrűség  $\rightarrow$  gyorsabb tágulás  $\rightarrow$  nagyobb  $N_n/N_p$   $\rightarrow$  kevesebb H
- A könnyű elemek gyakorisága 3-féle neutrínó létezésével egyeztethető össze:
- Részecskefizikai mérések 3-féle neutrínó létezését támasztják alá

# 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?

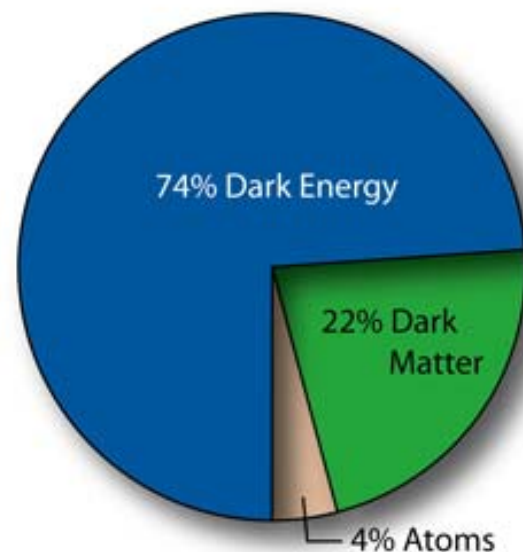
## Hogyan látjuk ma a világot?

- A VE születése után 0,02 mp-cel, 13,7 milliárd ( $\pm 1\%$ ) évvel ezelőtt igen nagy sűrűségű és hőmérsékletű elektromágneses plazmával (elektronok, pozitronok, fotonok, kevéske proton és neutron) volt kitöltve
- A VE tágult és hűlt. A harmadik perc végén hőmérséklete 900 millió K alá süllyedt. Ekkor kialakultak a könnyű elemek (H, He, Li, Be, B)
- 379 ezer évvel később hőmérséklete 3000 K alá süllyedt. Ekkor kialakultak a semleges atomok, így a sugárzás és anyag közötti kölcsönhatás megszűnt. Ettől kezdve a sugárzás szabadon tágult a VE-mel és hűlt a ma mérhető 2,73 K-es értékre.
- Az első csillagok 200 millió évvel később gyulladtak ki. 

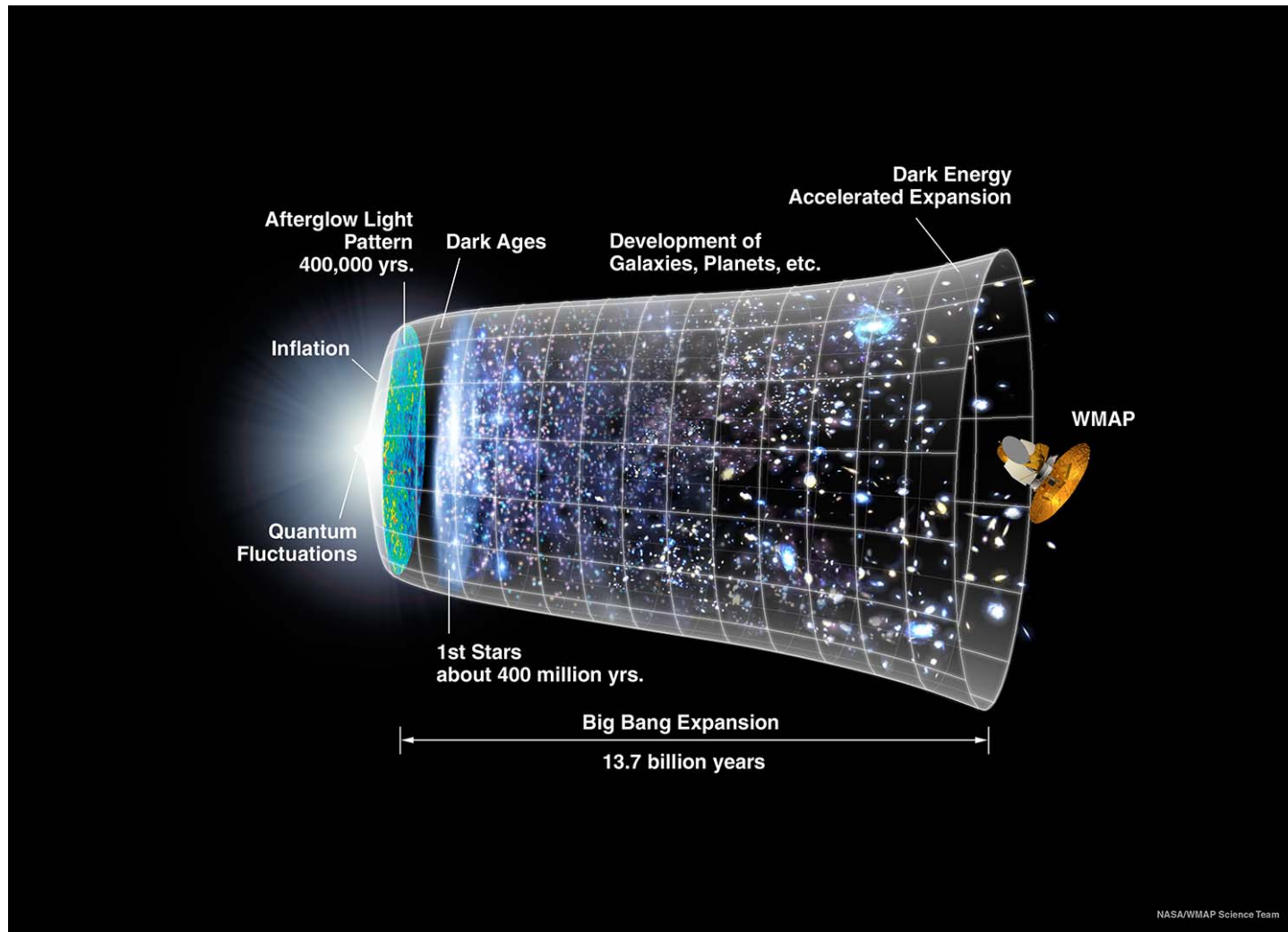


## Hogyan látjuk ma a világot?

- A VE tágulását meghatározó Hubble-állandó értéke  $71 \text{ (km/s)/Mpc}$  ( $\pm 5\%$ )
- Az adatok jelenlegi értelmezése szerint a VE örökké tágulni fog, ...
- A VE tömegének **4%-a** a bennünket is felépítő **atomokból** áll. **22%-a** olyan hideg „**sötét anyag**”, amelyet laboratóriumban nem sikerült előállítani. **74%-a** ismeretlen eredetű „**sötét energia**”.  
**Mindez csak 100 Mpc léptékben, nem a Földön!**
- Az első 0,02 másodperc történéseire is lehet következtetni a WMAP adataiból (felfúvódás?) és **részecskefizikai kísérletekből**



# Hogyan látjuk ma a világot?



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 anyaga megtalálható lesz  
(a kérdezz-felelek óra után)

[http://zorro.atomki.hu/~zoltan/LectureNotes/  
NTPcern-2006.ppt](http://zorro.atomki.hu/~zoltan/LectureNotes/NTPcern-2006.ppt)

helyen