Η εξερεύνηση της, απόκοσμης, Κοσμικής Μικροκυματικής Ακτινοβολίας

Δρ. Νεκταρία Α. Β. Γκιζάνη
Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας
Ελληνικό Ανοικτό Παν/μιο

Γιατί θα μιλήσουμε:

Δημιουργία Σύμπαντος – Θεωρία Μεγάλης έκρηξης

Τι είναι η Κοσμική Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου (CMB)

Που την παρατηρούμε?

Ιστορία της ανακάλυψης

Γιατί είναι Σημαντική για τον άνθρωπο

Ανισοτροπίες της CMB - Ήχος από το Σύμπαν

Ας φανταστούμε

Επικρατέστερη Θεωρία βάσει παρατηρήσεων

Big Bang – Μεγάλη Έκρηξη

Δε συμβαίνει σε ένα σημείο αλλά παντού στο σύμπαν.

Πρώϊμο Σύμπαν

0.00000000000000000000000000000000000 0000000001 sec

Τόσο θερμό και ενεργητικό που, δεν υπάρχουν σωματίδια, όλες οι δυνάμεις ενοποιημένες σε μια
Τέλος εποχής η βαρύτητα διαχωρίζεται (πολύ μικρές ανωμαλίες)

~10^{-43} - 10^{-36} sec - Εποχή Μεγάλης Ενοποίησης

T ~ (10^{27} K–273.15° C)≈ 10^{27} C
Ισχυρή-Ηλεκτρομαγνητική-Ασθενής δύναμη είναι ενοποιημένες = ηλεκτροπυρηνική δύναμη,
Υπάρχουν στοιχειώδη σωμάτια (αλλά δεν έχουν νόημα οι έννοιες φορτίο, μάζα, ...)

~10^{-36} – (10^{-33} και 10^{-32})sec - Εποχή Πληθωρισμού

Το σύμπαν διαστέλλεται με τρομακτική ταχύτητα (εκθετικά) σε πολύ, πολύ μικρό χρόνο ⇒ αύξηση γραμμικών διαστάσεων σύμπαντος × 10^{26}

Τέλος Εποχής: Πυκνό και θερμό μίγμα στοιχειωδών σωματιδίων [(αντι)κουάρκ, γλουόνια = quark-gluon plasma ή σούπα] απλώνεται στο σύμπαν .

Ασύλληπτα μεγάλη θερμοκρασία και ενέργεια →

<u>Ηλεκτροασθενής εποχή</u>: Η ισχυρή δύναμη - ηλεκτροασθενής δύναμη (ηλεκτρομαγνητική+ασθενής), εξωτικά σωματίδια (μποζόνιο Higgs, W, Z)

~10^{-12} sec - Εποχή Κουάρκ

Σύμπαν συνεχώς διαστέλλεται, Θερμοκρασία πέφτει, παύει η ασθενής αλληλεπίδραση, εξαφανίζονται W, Z →

Σημερινή μορφή δυνάμεων

Πολύ μεγάλη ενέργεια → δεν υπάρχουν αδρόνια

~10^{-6} sec - Εποχή Αδρονίων

Πέφτει περισσότερο η ενέργεια, και σχηματίζονται αδρόνια (π.χ. (άντι)πρωτόνια, νετρόνια,...)
Στο τέλος της συμβαίνει εξαύλωση
Μένει μικρό ποσοστό αδρονίων

~1-10 sec - Εποχή Λεπτονίων

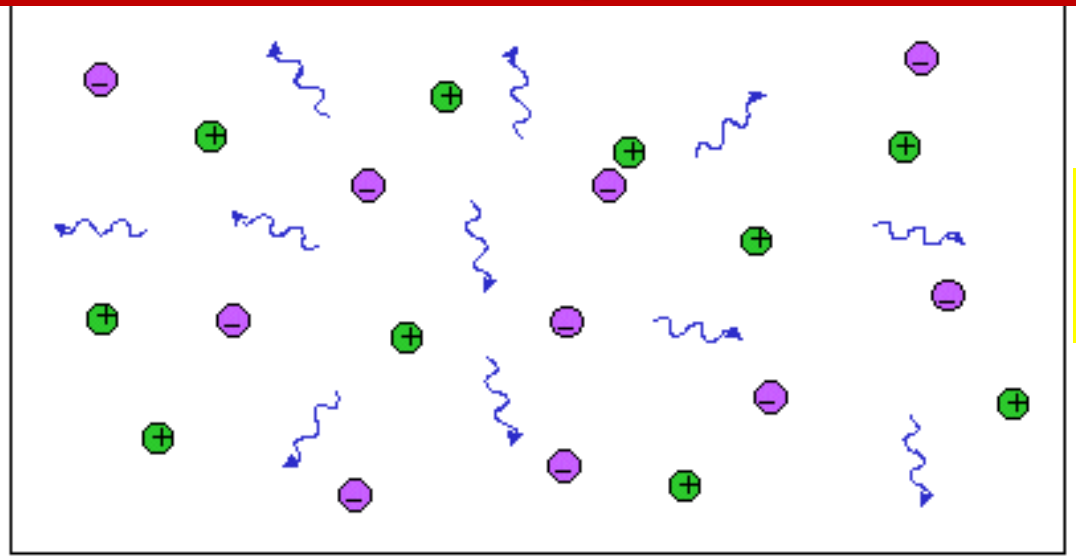
Πέφτει περισσότερο η θερμοκρασία (10^9K), σχηματίζονται ζεύγη (αντι)λεπτονίων (π.χ. ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια)
Στο τέλος της συμβαίνει εξαύλωση
Μένει μικρό ποσοστό λεπτονίων

~10 sec – 380 000 χρόνια - Εποχή Φωτονίων

Κυριαρχούν πλέον τα φωτόνια
Η θερμοκρασία έχει πέσει τόσο πολύ που από πρώτα λεπτά της εποχής δημιουργούνται πυρήνες (πυρηνογέννεση)
Θερμό-πυκνό πλάσμα πυρήνων-e^- - φωτονίων → άτομα (H_2)

ΕΠΟΧΗ ΕΠΑΝΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ή ΕΠΟΧΗ ΦΩΤΟΝΙΩΝ

Ηλικία σύμπαντος ≤ 380,000 έτη



Ελεύθερα ηλεκτρόνια

T ≈ 3 ºK

Δημιουργία ατόμων

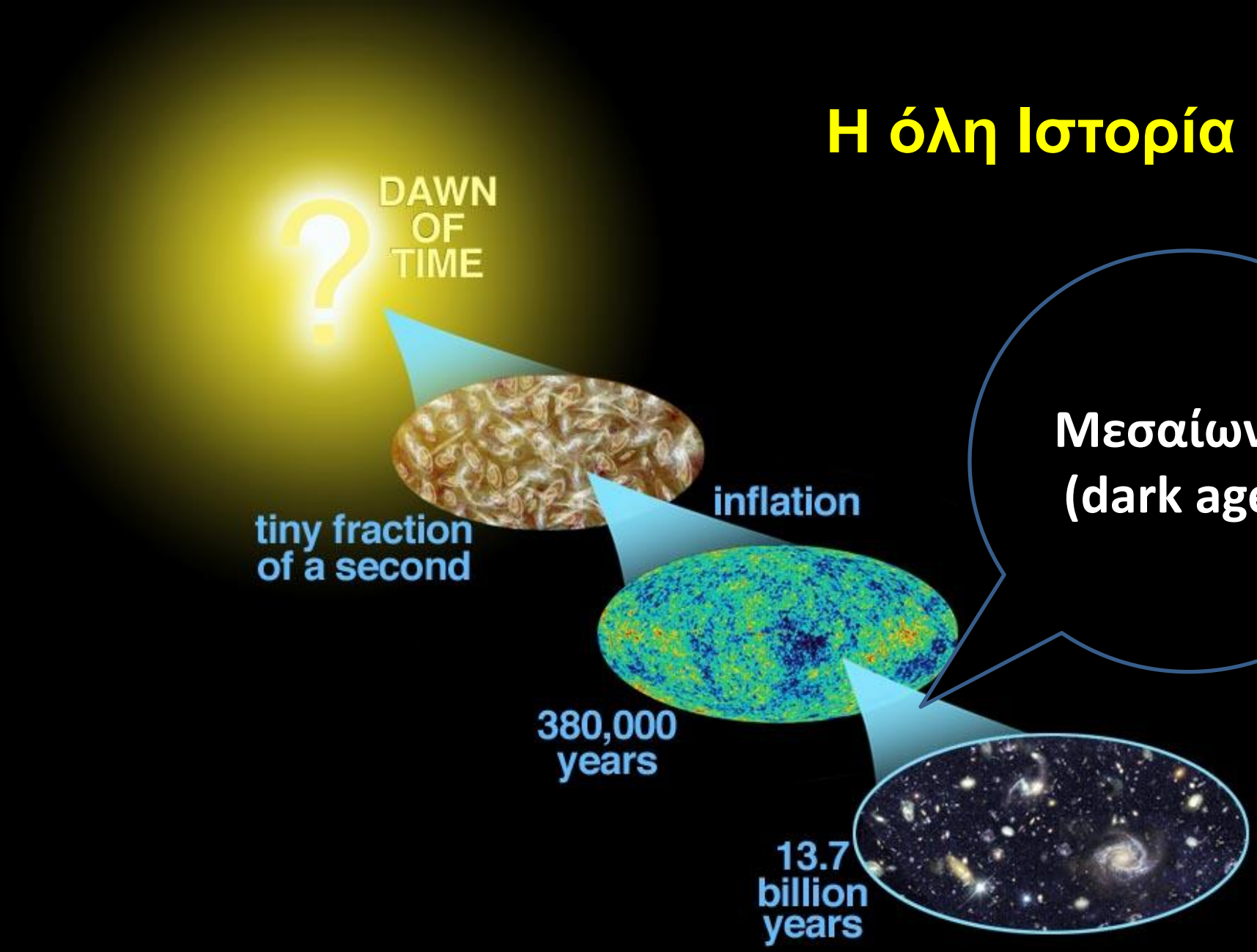
Ξεκινά η δημιουργία δομών μεγάλης κλίμακας (π.χ. γαλαξίες)

Σύμπαν κυριαρχείται από ύλη
T~3K = –270.15 C
Τα φωτόνια δεν αντιδρούν,πλέον, συχνά με την ύλη στο σύμπαν → διαφανές σύμπαν →

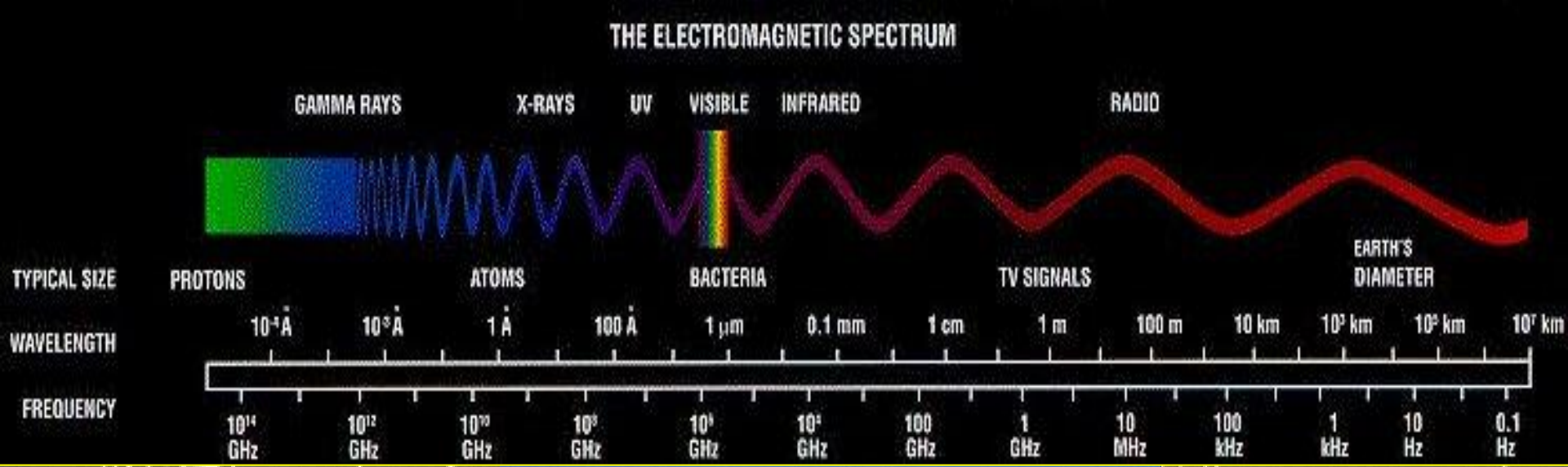
Κοσμική Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου
CMB

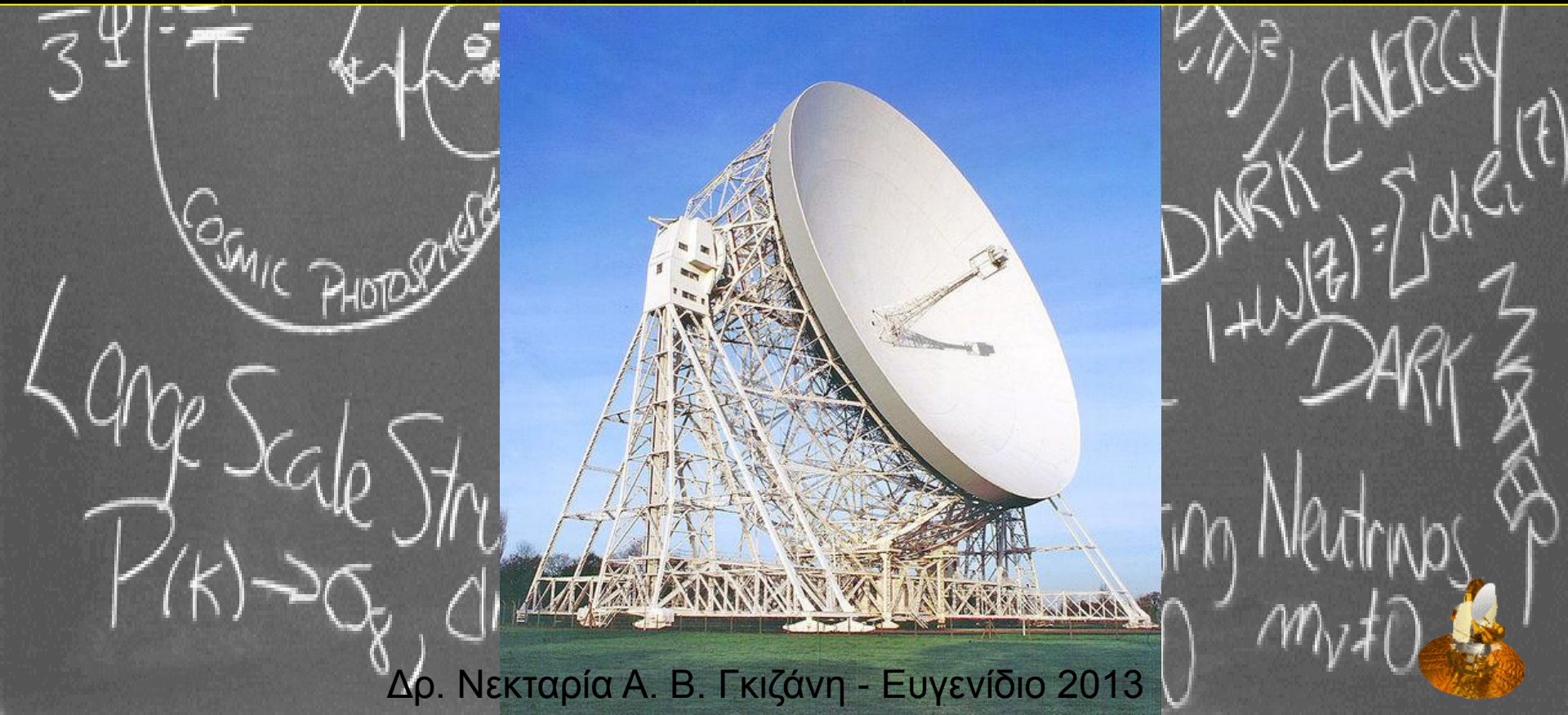
Φωτόνια που εκπέμφθηκαν όταν δημιουργήθηκαν τα άτομα

Η όλη Ιστορία



Μεσαίωνας
(dark ages)


THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM
GAMMA RAYS
X-RAYS
UV
VISIBLE
INFRARED
RADIO
TYPICAL SIZE
PROTONS
ATOMS
BACTERIA
TV SIGNALS
EARTH'S DIAMETER
WAVELENGTH
10⁻⁴ Å
10⁻³ Å
1 Å
100 Å
1 μm
0.1 mm
1 cm
1 m
100 m
10 km
10³ km
10⁵ km
10⁷ km
FREQUENCY
10¹⁴ GHz
10¹² GHz
10¹⁰ GHz
10⁸ GHz
10⁶ GHz
10⁴ GHz
100 GHz
1 GHz
10 MHz
100 kHz
1 kHz
10 Hz
0.1 Hz

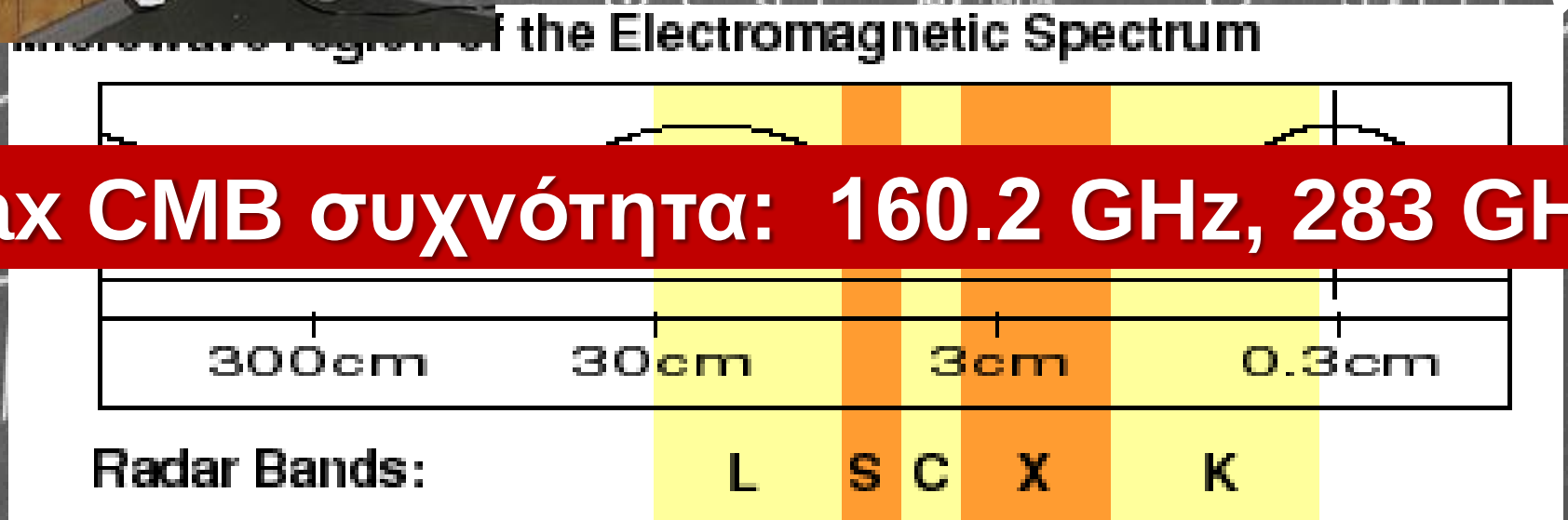

COSMIC PHOTOSPHERE
Large Scale Stru
P(k)
DARK ENERGY
DARK
Neutrinos

Radio spectrum

ELF	SLF	ULF	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF
3 Hz	30 Hz	300 Hz	3 kHz	30 kHz	300 kHz	3 MHz	30			z
30 Hz	300 Hz	3 kHz	30 kHz	300 kHz	3 MHz	30 MHz	300 MHz	3 GHz	30 GHz	300 GHz

Μικροκύματα

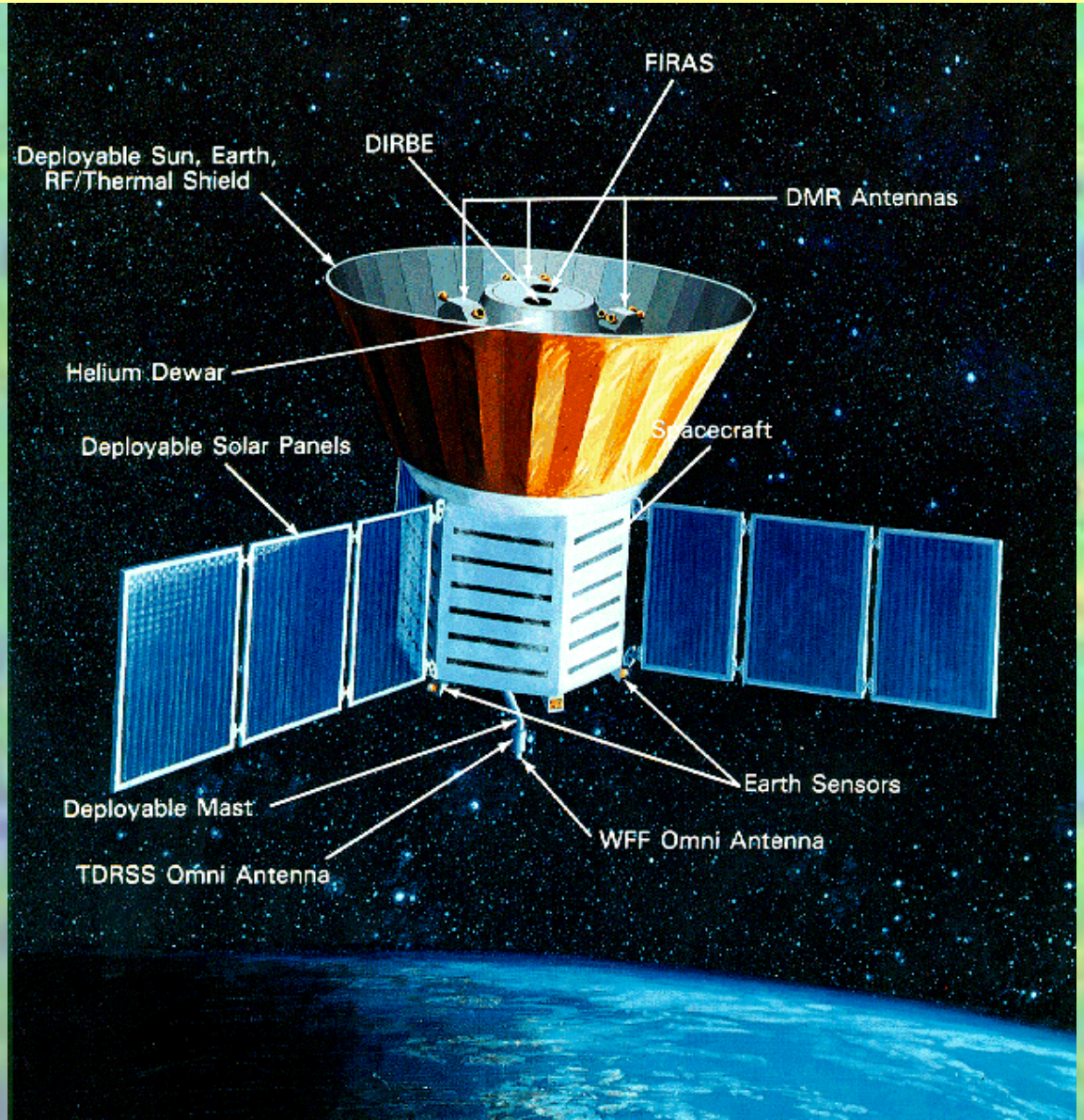
Αρχή Λειτουργίας: χρησιμοποιείται μη ιονίζουσα μικροκυματική ακτινοβολία συνήθως σε συχνότητες από 915 MHz (λ = 32.8 cm, βιομηχανικοί) έως 2.45 GHz (λ = 12.2 cm)



Max CMB συχνότητα: 160.2 GHz, 283 GHz

Συχνότητα παρατήρησης της CMB: 0.3 – 300 GHz

Συχνότητα παρατήρησης της CMB: 60 – 630 GHz



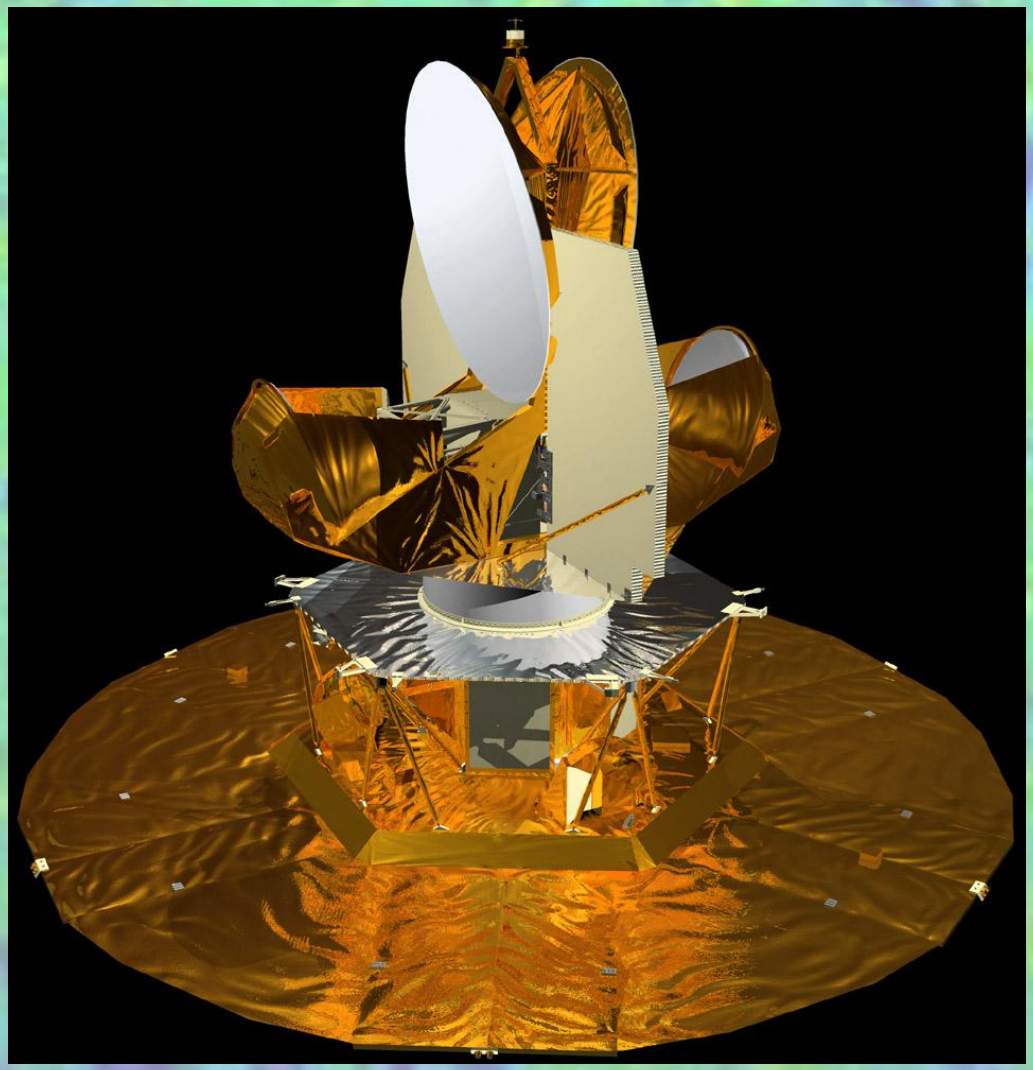
COBE

Δορυφόρος WMAP

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

Όργανα

K-band	**23 GHz**
Ka-band	**33 GHz**
Q-band	**41 GHz**
V-band	**61 GHz**
W-band	**94 GHz**



Wavelength 350 to 10,000 μm

Όργανα

Low Frequency Instrument (LFI) 30–70 GHz receivers

High Frequency Instrument (HFI) 100–857 GHz receivers

Planck satellite

Γιατί μικροκύματα?

Ο χώρος μεγαλώνει – η θερμοκρασία πέφτει (ψύξη) – πυκνότητα της ύλης μειώνεται (αραιό) – το μήκος κύματος μεγαλώνει

Big Bang

Πυκνό
&
θερμό

Ιονισμένη

θερμή ομίχλη

Βλέπω τείχο από φωτεινή ομίχλη που λάμπει

διαστολή

ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ
380 000 χρόνια
Θερμοκρασία ~ 3K = –270 C

BB

BB

BB

BB

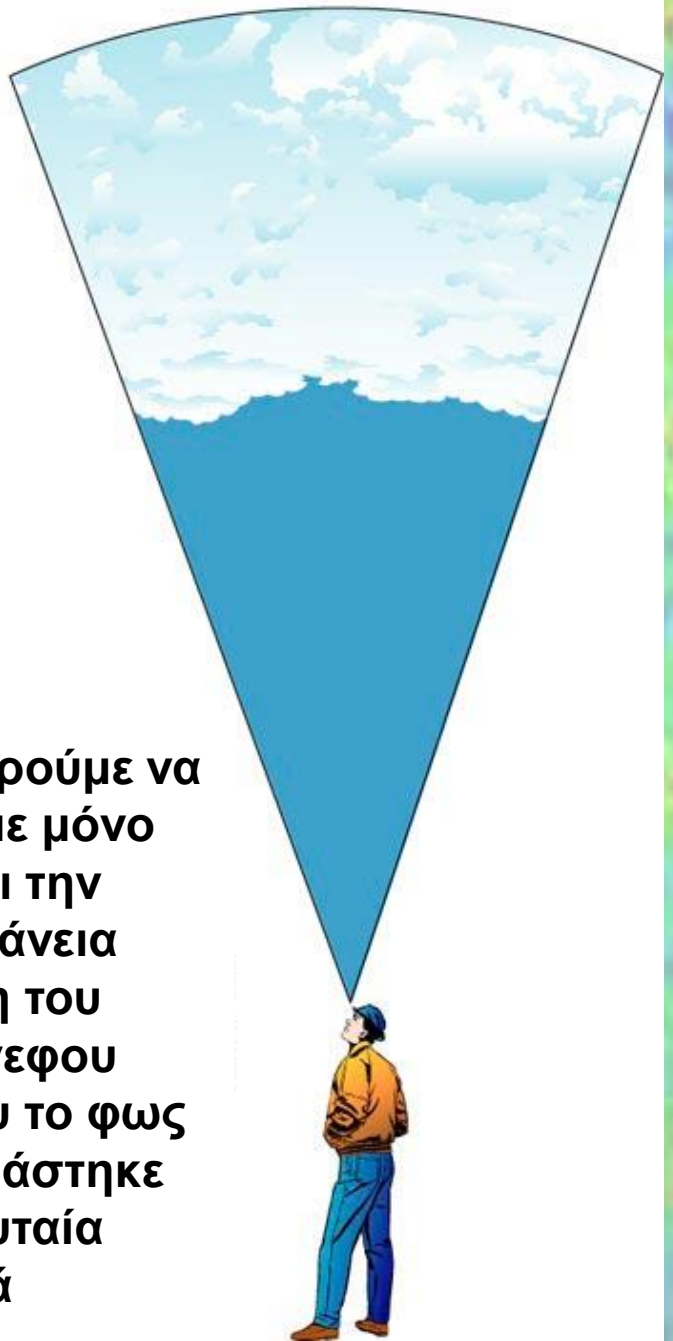
BB

BB

Τον τείχο = ΟΡΙΖΟΝΤΑ
το βλέπουμε από
όλες τις διευθύνσεις

μικροκυματικά φωτόνια ξεκίνησαν να έρχονται προς εμάς

Το «φως» από το ΒΒ είναι
παντού γύρω μας



Μπορούμε να δούμε μόνο μέχρι την επιφάνεια βάση του σύννεφου όπου το φως σκεδάστηκε τελευταία φορά

Άλλα Ονόματα

Cosmic microwave background (CMB)

Κοσμική Μικροκυματική Ακτινοβολία Υποβάθρου

Primordial Light/Radiation

Αρχέγονο(η) Φως/Ακτινοβολία

Η επιφάνεια του τελευταίου σκεδασμού

τείχος φωτός

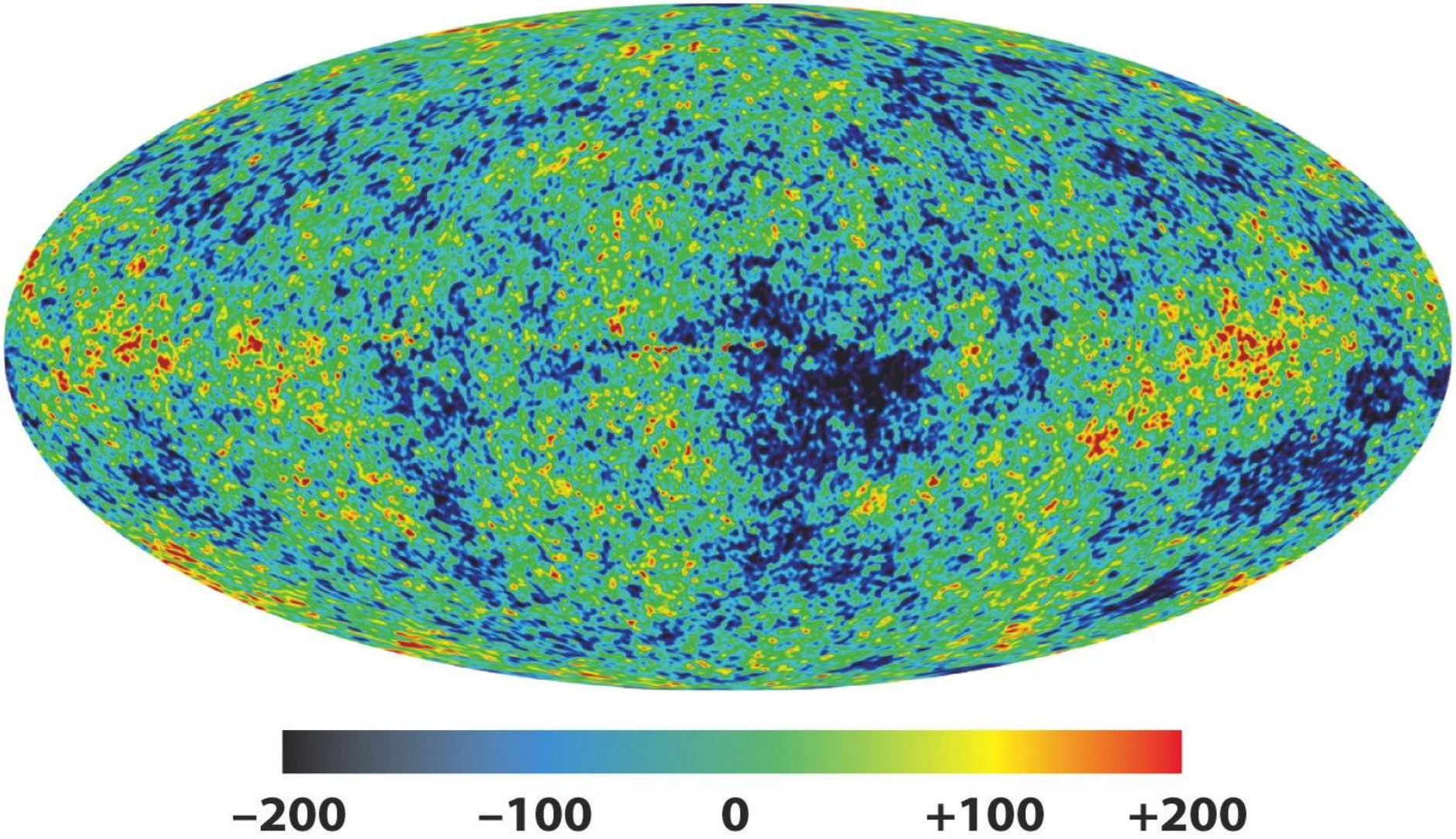
Απομεινάρι Θερμότητας από BB

Θερμοκρασία του Σύμπαντος

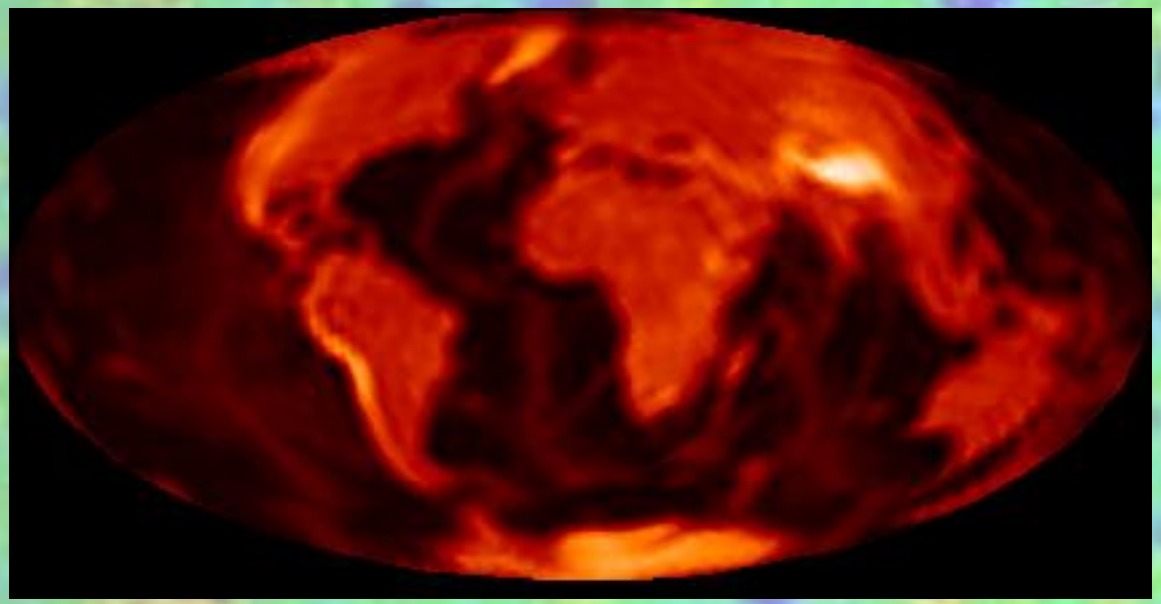
Ο Απόηχος του Σύμπαντος

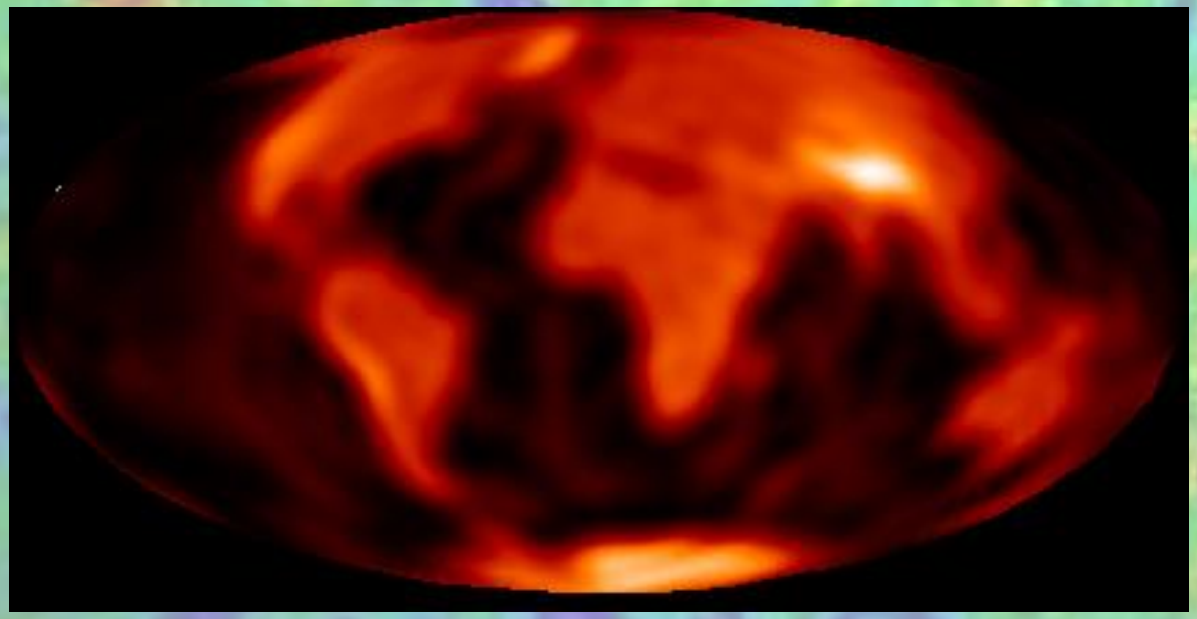
Μικροκυματικός Ουρανός

- ΕΙΚΟΝΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ!

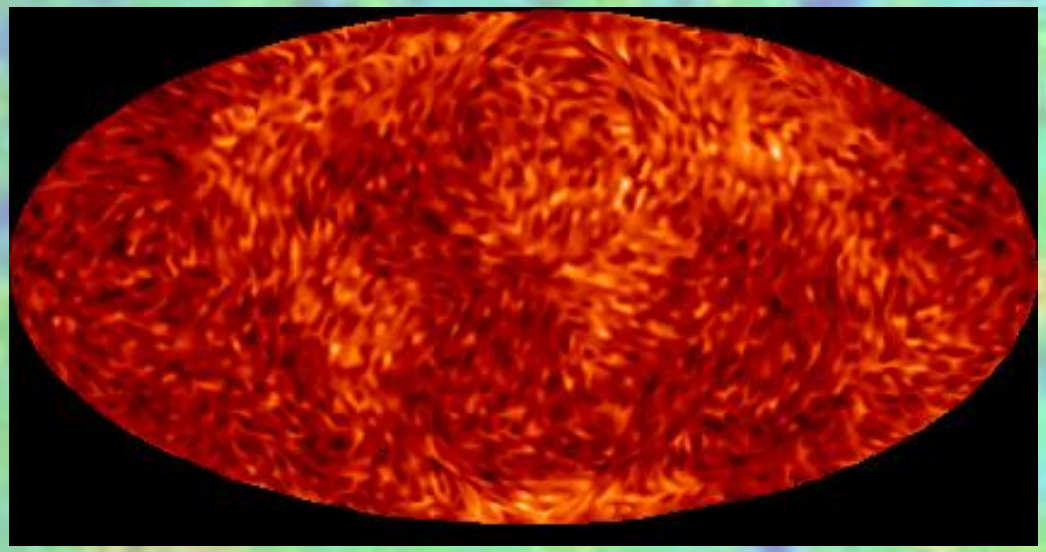


WMAP

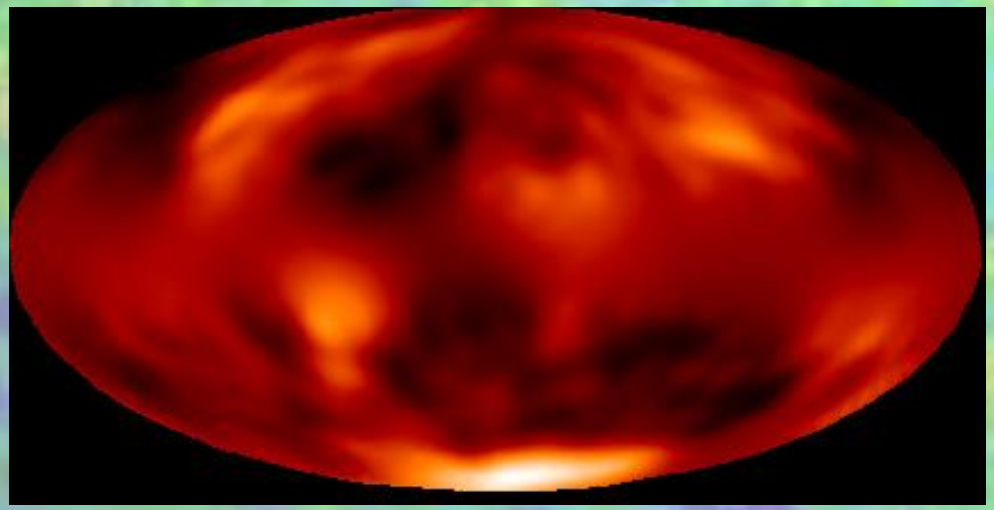




COBE + θόρυβος



Διώχνουμε το θόρυβο με το να κάνουμε smooth το χάρτη. Εμφανίζονται μεγάλα χαρακτηριστικά αλλά εξαφανίζονται οι λεπτομέρειες

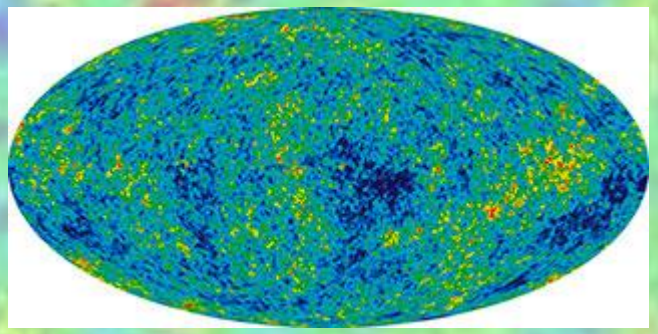


E. Bunn

Παρατηρήσεις

Υπάρχουν μικρές διακυμάνσεις (ripples) στην παρατηρούμενη θερμοκρασία της CMB από τη μια διεύθυνση στην άλλη, από σημείο σε σημείο

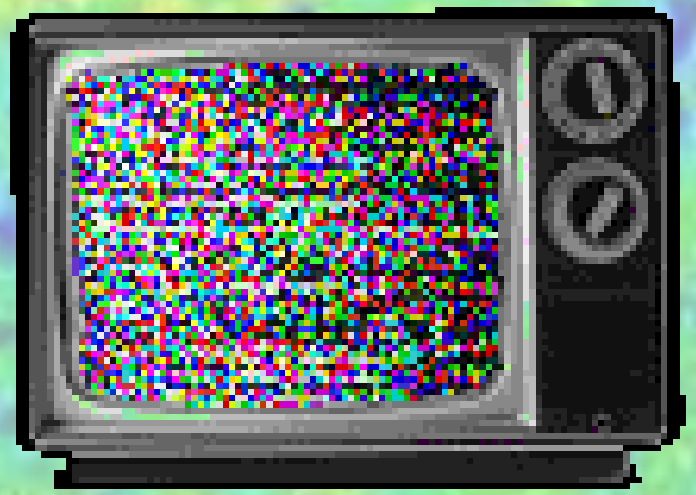
ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΕΣ



Αυτές οι διακυμάνσεις μας βοηθούν να καθορίσουμε πώς σώματα όπως οι γαλαξίες δημιουργούνται στο σύμπαν

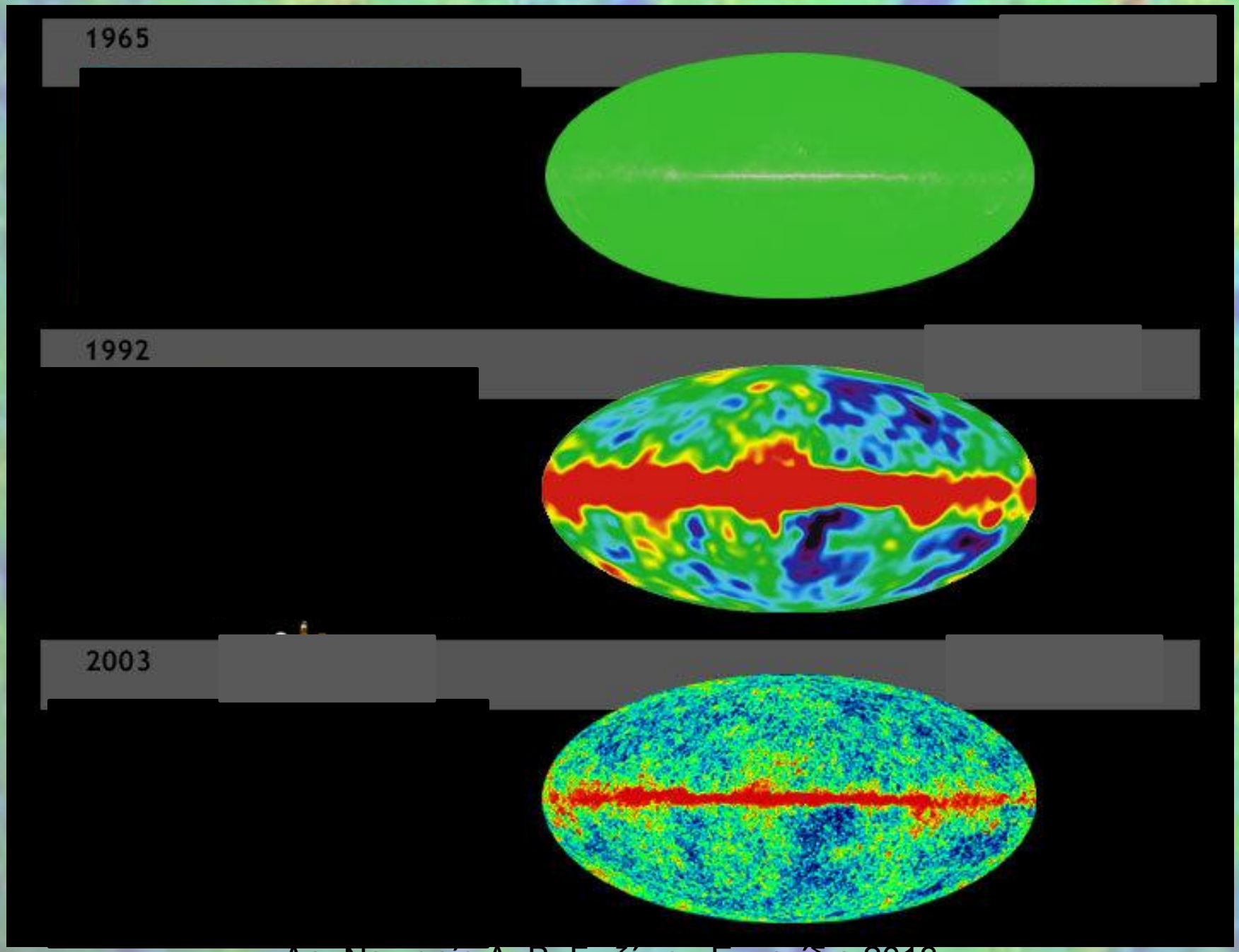
Χαρακτηριστικά CMB

3 βαθμοί πάνω από το απόλυτο μηδέν (-270 ^{o}C)
λ (mm-cm)

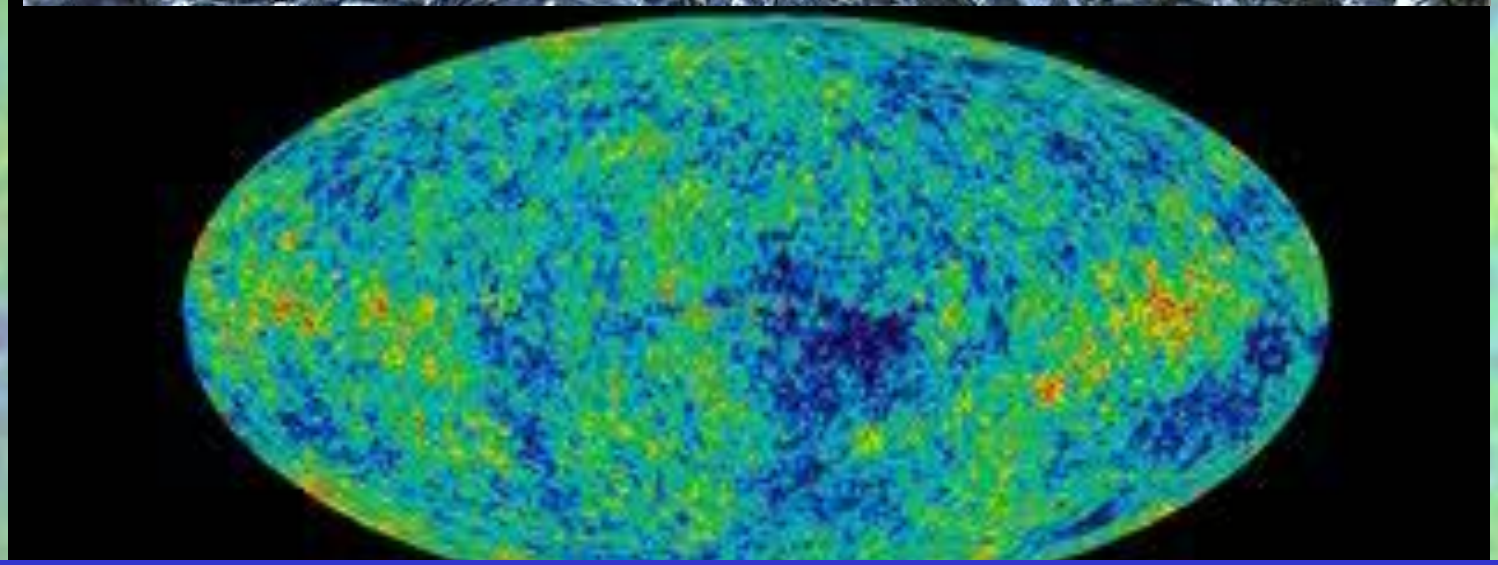


Μικρό ποσοστό του «χιονιού» στην τηλεόραση)

Η θερμοκρασία είναι διαφορετική σε διαφορετικά μικρά τμήματα του ουρανού


1965
1992
2003

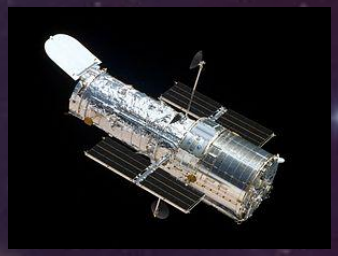
Διαφορετικό ύψος κυμάτων: ψηλή-χαμηλή επιφάνεια νερού

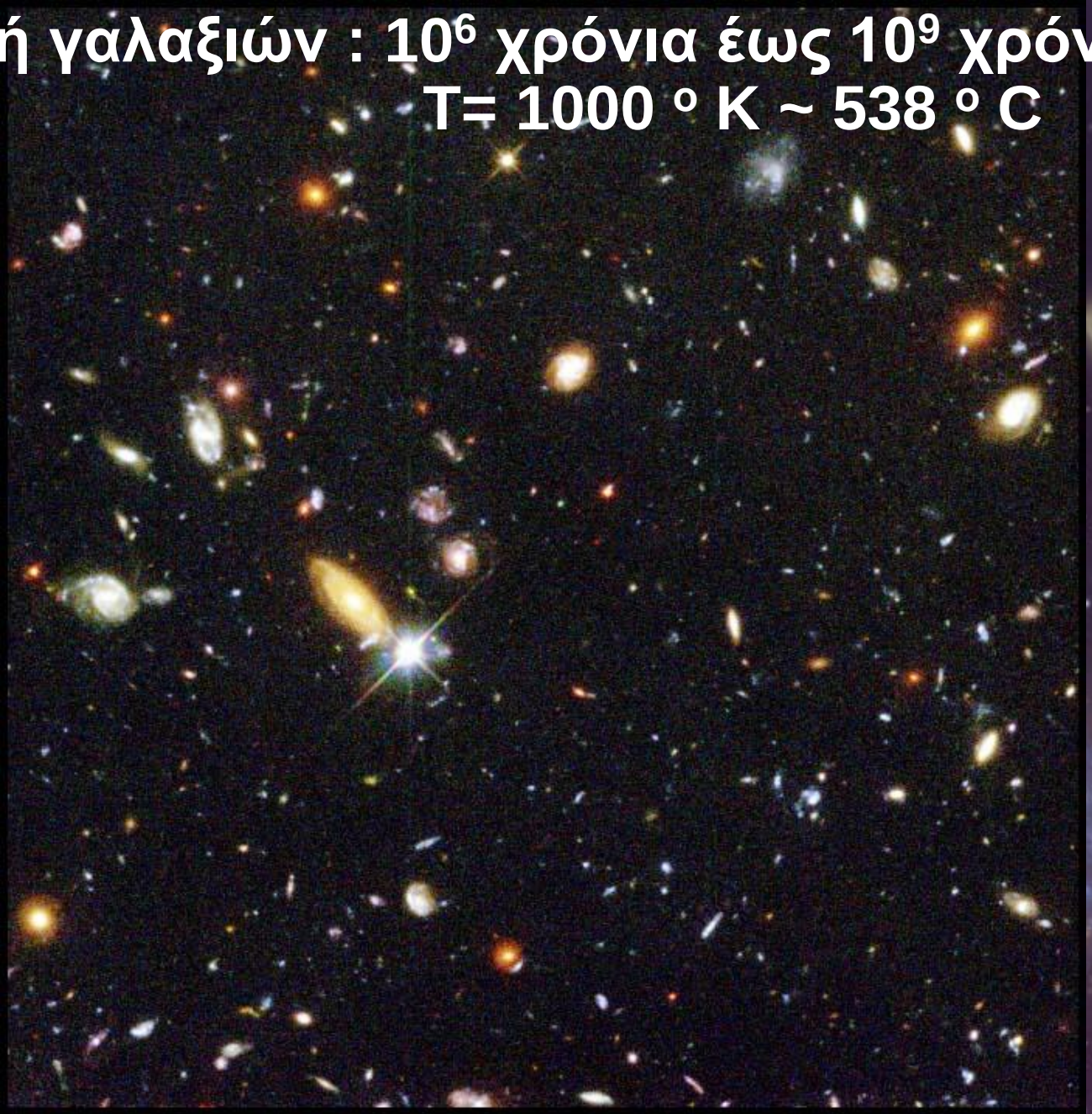


Ιστορία του Σύμπαντος

Κόκκινο-μπλε: διαφορετική πυκνότητα αερίου, πίεσης της ακτινοβολίας, διαφορετική θερμοκρασία

Εποχή γαλαξιών : 10^6 χρόνια έως 10^9 χρόνια, T= 1000 º K ~ 538 º C

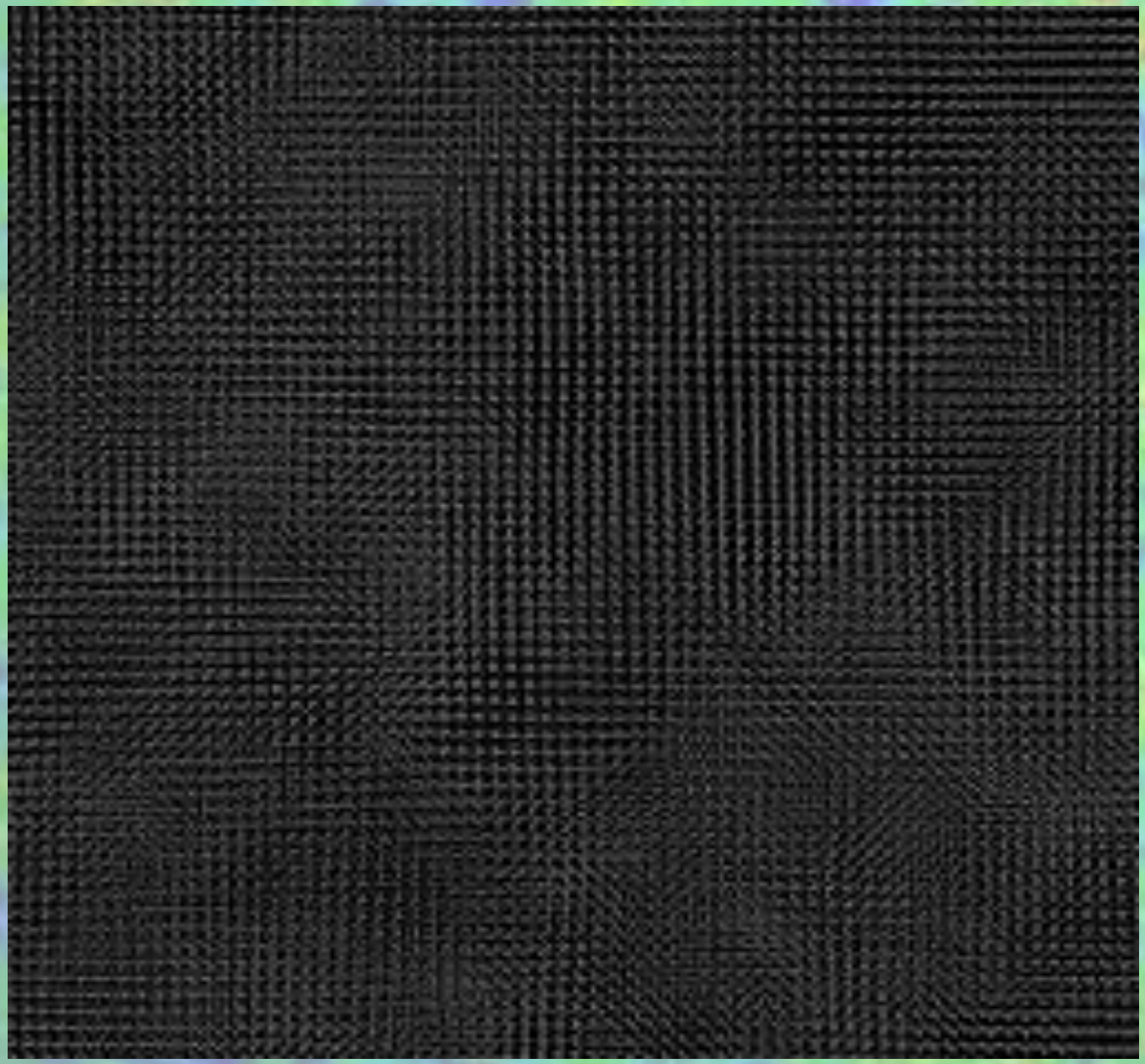




Hubble Deep Field HST • WFPC2

PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

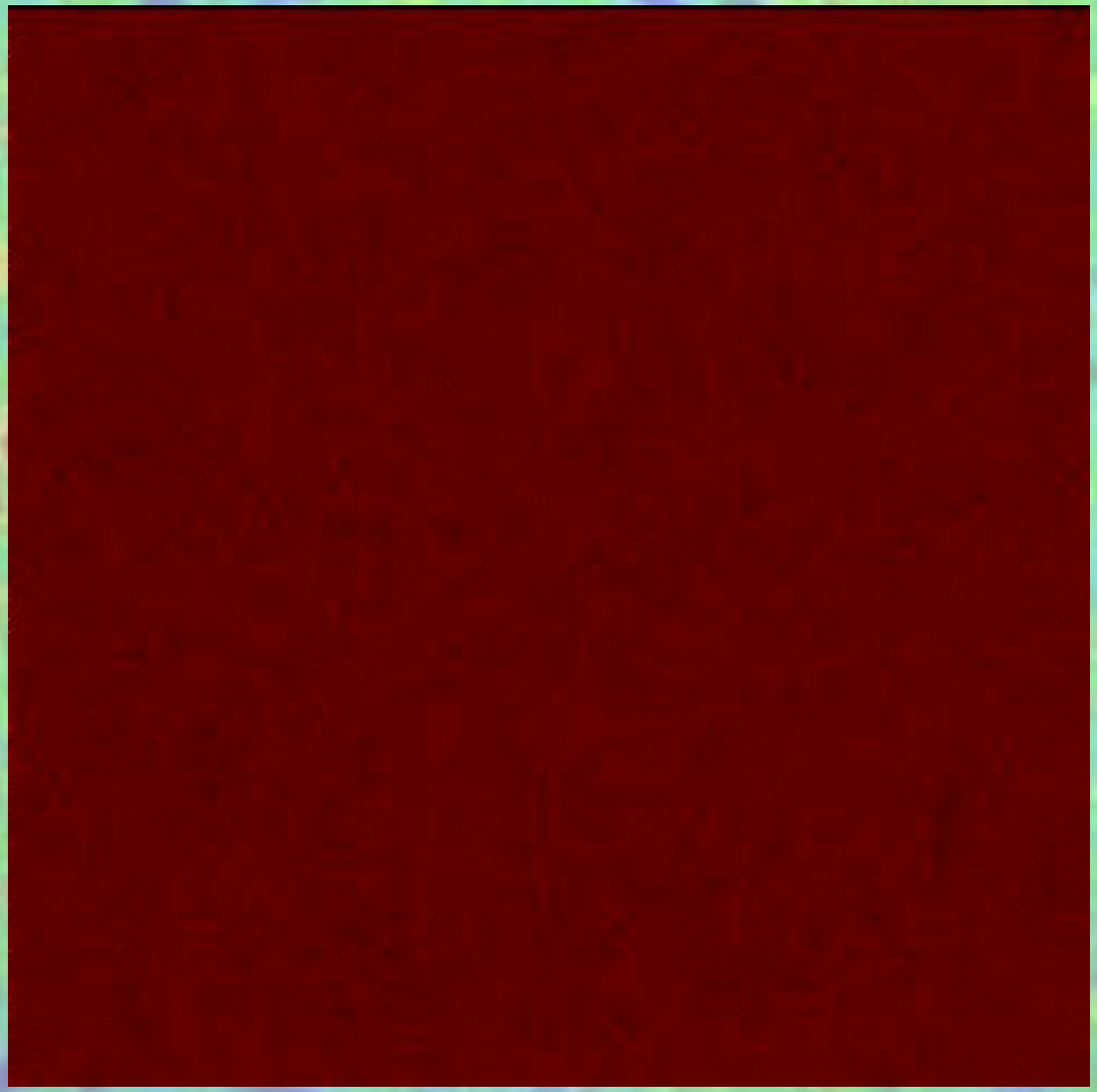
Credit: Mark Whittle, University of Virginia



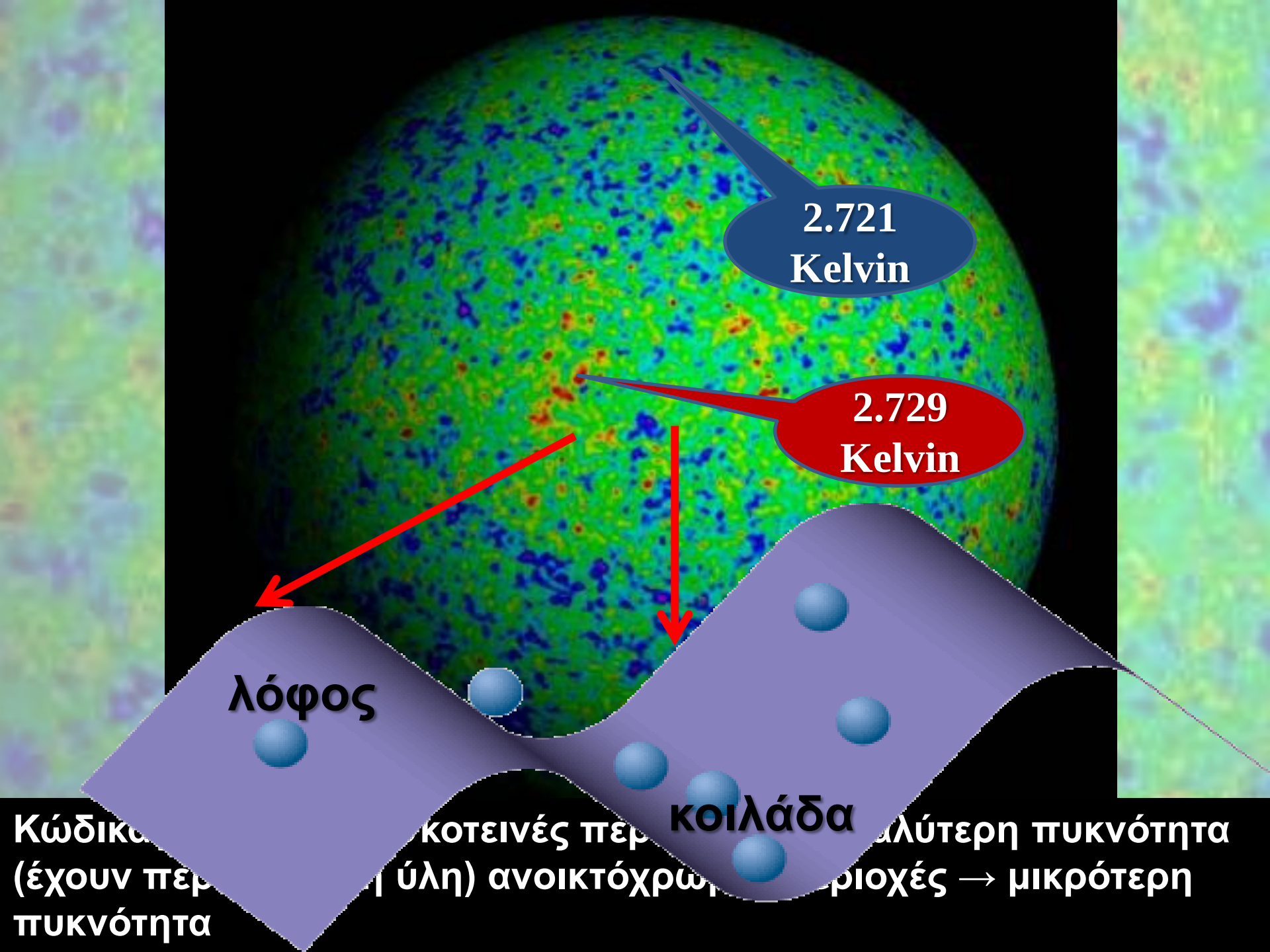
Credit: Mark Whittle, University of Virginia

Ομογενές & Ισότροπο

ΚΟΣΜΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ



Credit: Mark Whittle, University of Virginia



Κώδικα κοτεινές περ αλύτερη πυκνότητα (έχουν περ ύλη) ανοικτόχρω ριοχές → μικρότερη πυκνότητα

Χρήσιμη Ιδιότητα της CMB

όταν κοιτάμε μακρυά σε ευρείες γωνίες βλέπουμε

ζάρες σε τόσο μεγάλες κλίμακες που δεν έχει

ακόμα ξεκινήσει η κατάρρευση της ύλης.

Βλέπουμε δηλαδή τις αρχέγονες ζάρες.

Καμπυλότητα του χώρου στο Σύμπαν

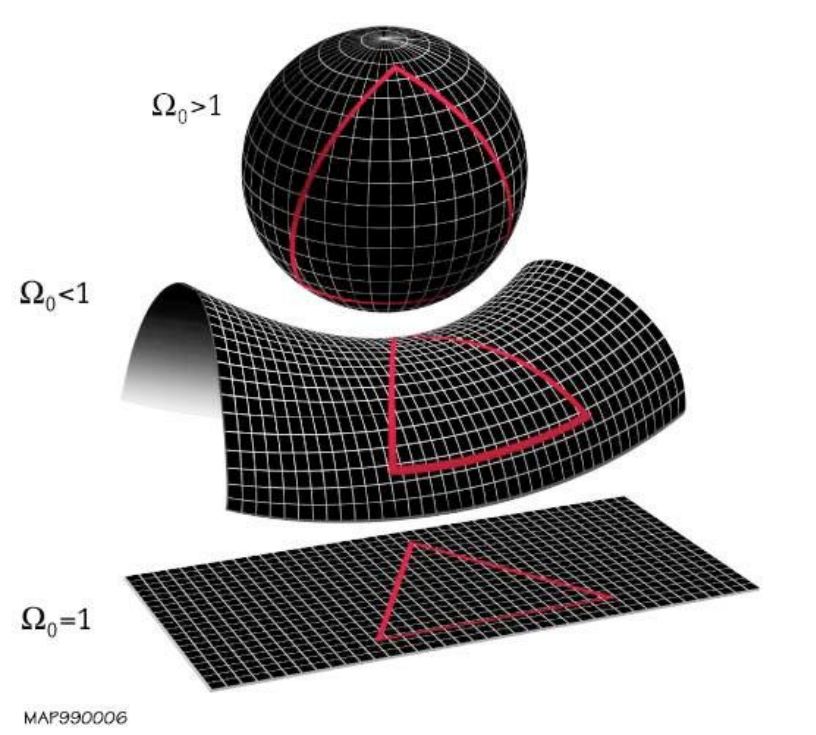
Η καμπύλωση δημιουργειται από την ύλη (μέσω βαρύτητας)

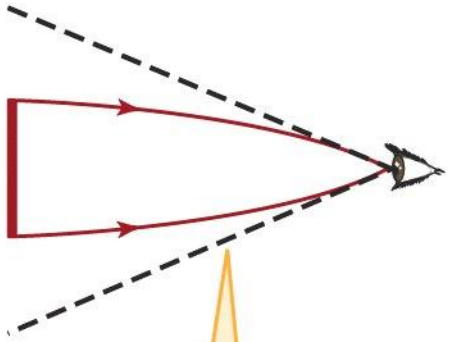
Einstein: Η βαρύτητα είναι η καμπυλωση του χωρό-χρονου

Η καμπυλότητα αποφασίζει για το περωμένο του σύμπαντος
Το Σύμπαν μας είναι καμπύλο στο χώρο?

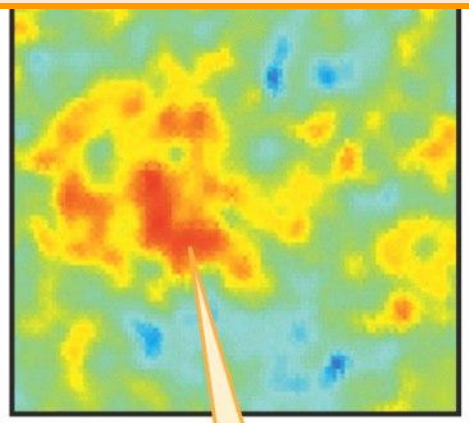
Πρακτικά η καμπύλωση μετράται από το μέγεθος των κηλίδων στους χάρτες CMB, γιατί η βαρύτητα δρα σα μεγεθυντικός φακός σ'αυτές.

Όσο μικρότερο είναι το φυσικό μέγεθος των κηλίδων, τόσο μεγαλύτερη είναι η καμπυλότητα.





Αν το σύμπαν είναι κλειστό, οι ακτίνες φωτός από δύο αντίθετε πλευρές μιας θερμής κηλίδας καμπυλώνονται η μια προς την άλλη…

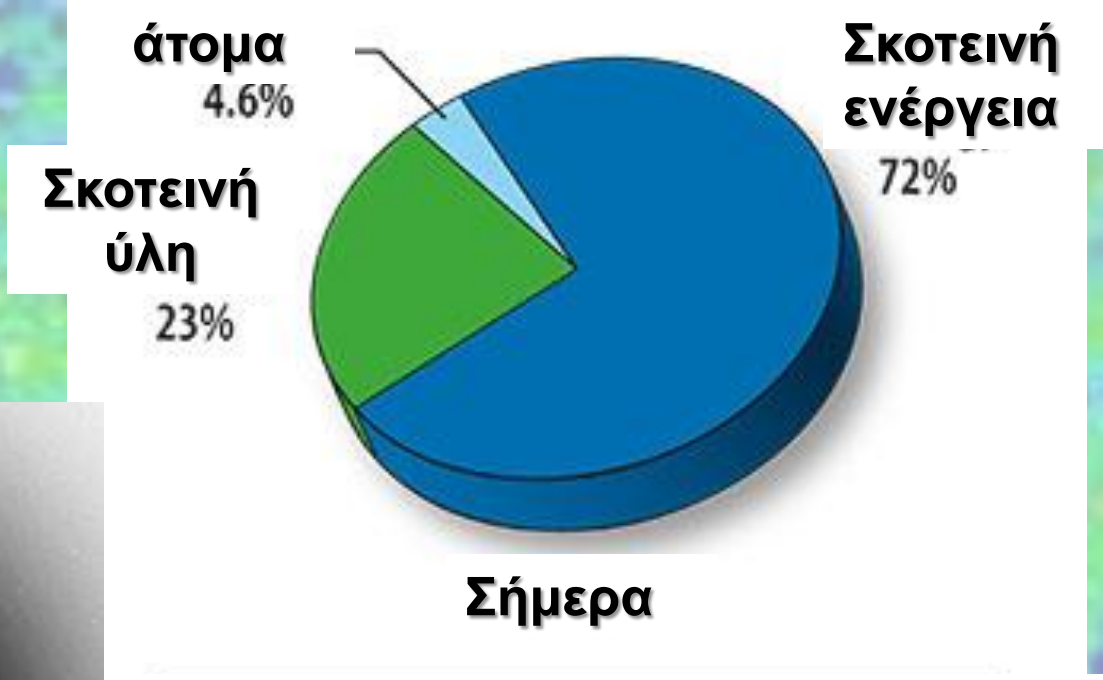


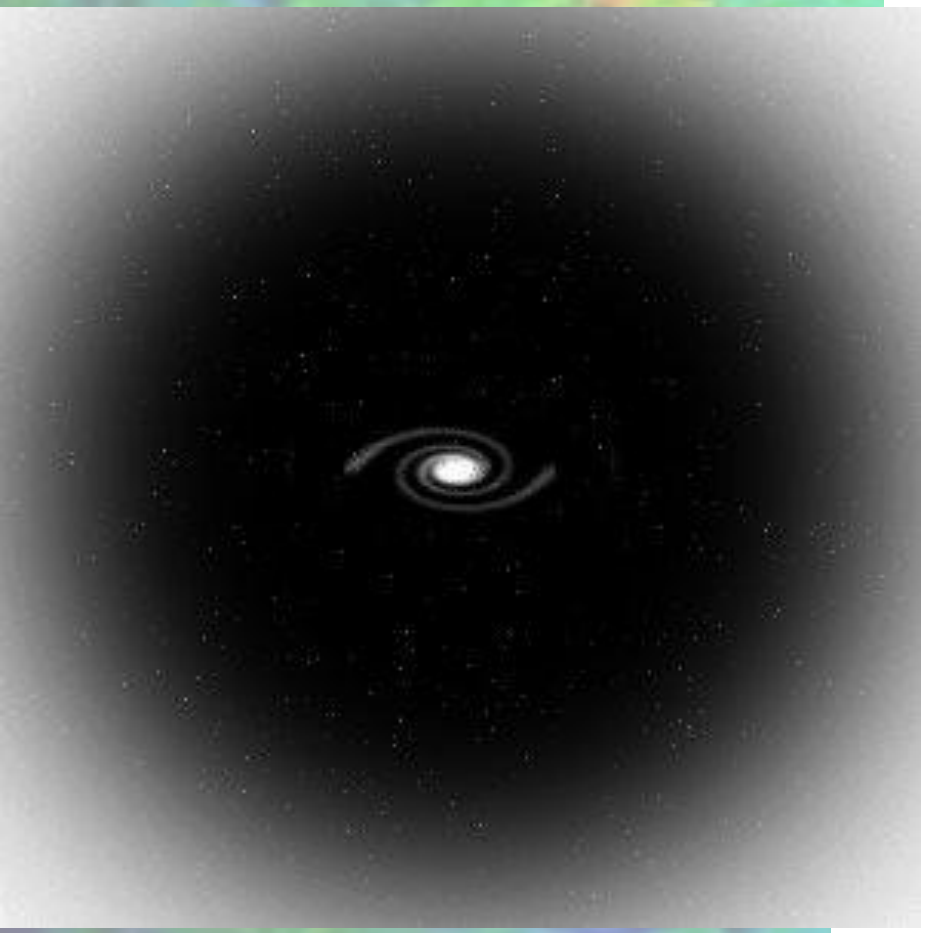
(a)

Μ’αποτέλεσμα η θερμή κηλίδα φαινεται πιο μεγάλη από ότι πραγματικά είναι.

Η Γεωμετρία του Σύμπαντος

Δρ. Νεκταρία Α. Β. Γκιζάνη - Ευγενίδιο 2013


άτομα
4.6%
Σκοτεινή ενέργεια
72%
Σκοτεινή ύλη
23%
Σήμερα



WMAP

- **Νέα ηλικία του Σύμπαντος με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια (13.77 ± 0.5) $\times 10^9$ χρονών**

- **Οριοθετεί τη γεωμετρία του Σύμπαντος: με ακρίβεια 0.4% το Σύμπαν μας είναι Ευκλείδια Επίπεδο**

- **Η ύλη (συνηθισμένα άτομα) αποτελεί μόνο το 4.6% ± 0.1% του σύμπαντος, η σκοτεινή ύλη (δεν είναι φτιαγμένη από άτομα) το 23.3% ± 1.3% και η σκοτεινή ενέργεια το 71.4% ± 1.5%**

«Βλέπουμε» και Ήχο

Οι μικρές ανισοτροπίες στη Τ →κύματα πίεσης μέσα στο ρευστό = ηχητικά κύματα στο πρώιμο σύμπαν = ήχος.
η βαρύτητα προσπαθεί να συμπιέσει το αέριο και η πίεση αντιτίθεται: Τα φωτόνια μεταφέρουν και ήχο

Φάσμα ηχητικών κυμάτων → δημιουργία Σύμπαντος, εξέλιξη και πεπρωμένο ουρανιών σωμάτων

Η μουσική του Πληθωρισμού δείχνει την πηγή των διαταραχών από τον πληθωρισμό

Θεμελιώδης συχνότητα των ηχητικών κυμάτων δείχνει τον ορίζοντα (τελευταία σκέδαση)

Υπάρχουν και δευτερεύουσες συχνότητες που βασίζονται στη θεμελιώδη

φτιάχνουν μια σειρά ήχων που δίνει πληροφορίες για την αρχή δημιουργίας των διακυμάνσεων στην περίοδο ραγδαίας διαστολής του σύμπαντος (πληθωρισμός).

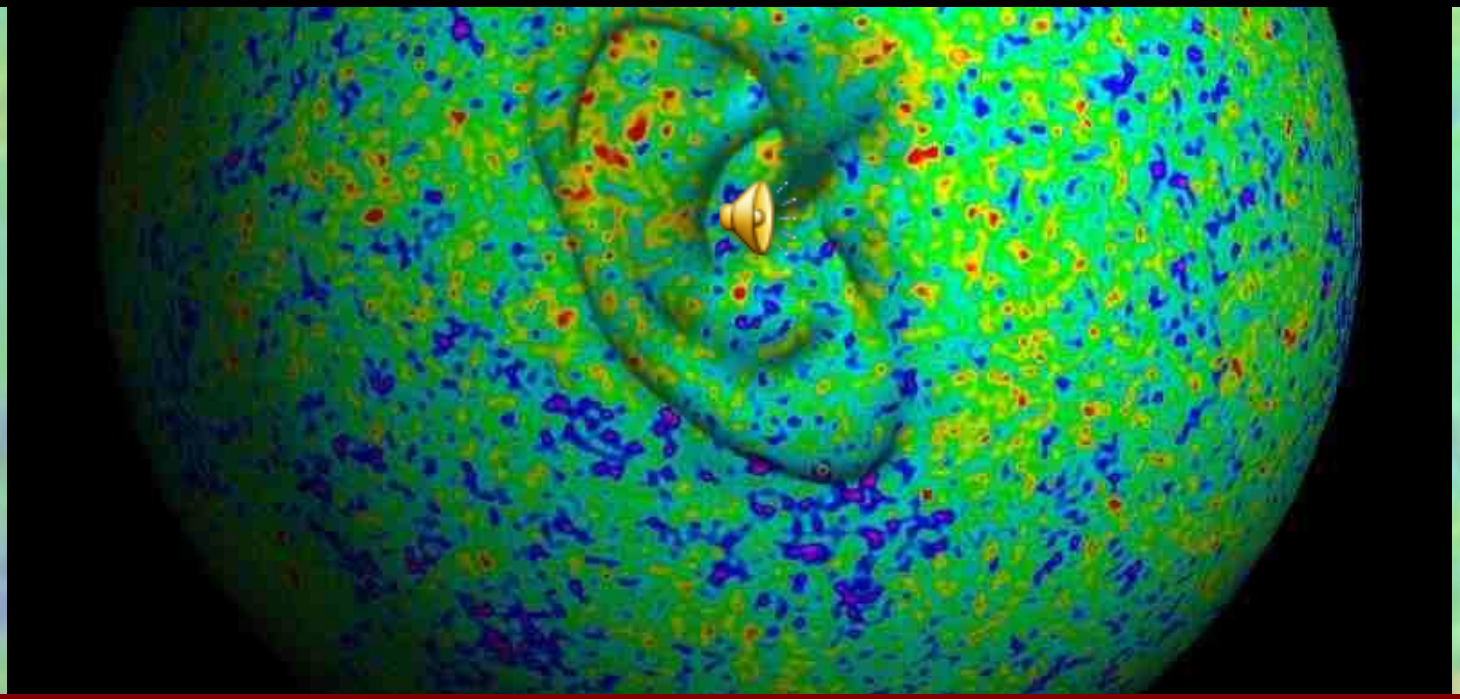
Γιατί καλύτερα βλέπουμε παρά ακούμε?

Γιατί όταν συμπιέζεται το αέριο, γίνεται θερμότερο. Οπότε 'βλέπουμε' τα ηχητικά κύματα σαν θερμές και σκοτεινές περιοχές στον ουρανό και όχι μόνο.

Ήχος από το νεογέννητο σύμπαν

3 διακριτοί ήχοι: φθίνουσα ‘στριγγλιά’ Βαθύ ‘βρύχισμα’, αυξανόμενο σφύριγμα (δημιουργία γαλαξιών)

Ο Αρχέγονος ήχος είναι τόσο ΒΑΘΥΣ γιατί το Σύμπαν είναι τόσο ΜΕΓΑΛΟ

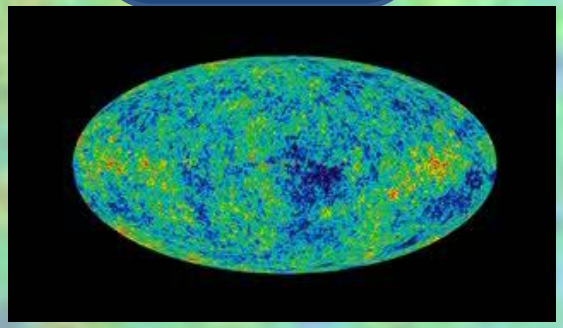


Κοσμικός ήχος: τα πρώτα δισεκ. Χρόνια συμπιέστηκαν σε 10 sec, παίζονται με σταθερό ήχο και μετατοπίστηκαν 50 οκτάβες

Credit: Mark Whittle, University of Virginia

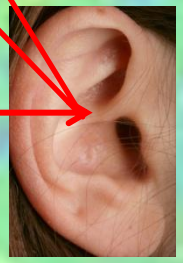
Βαρύτητα + πυκνώματα - αραιώματα ύλης

Ηχητικά κύματα



Τηλεσκόπια μικροκυμάτων

Ήχος



http://www.astro.virginia.edu/~dmw8f/BBA_web/bba_home.html

Τι μάθαμε:

Μετά από ~ 380 000 χρόνια, με T < 2.760 ° K → αποσύξευξη ακτινοβολίας και μάζας, επανασύνδεση (ηλεκτρόνια συλλαμβάνονται από πρωτόνια = άτομα) → συμπάν γίνεται διαφανές. Αυτό που βλέπουμε μέσω CMB είναι μια στιγμιαία φωτογραφία (snapshot) του σύμπαντος

Οποτε όταν «κοιτάμε» μέσα από το διαφανές σύμπαν, το βλέμμα μας συναντά τελικά ένα φωτεινό τείχο από μια θολούρα που φωτοβολεί = CMB → ύπαρξή της υποστηρίζει τη θεωρία BB

Όταν το φως από τον τείχο αυτό έρχεται προς τα εμάς διασχίζοντας Σύμπαν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας μεγαλώνει χιλιάδες φορές λόγω της διαστολής του σύμπαντος, και τελικά ανιχνεύεται στα μικροκύματα

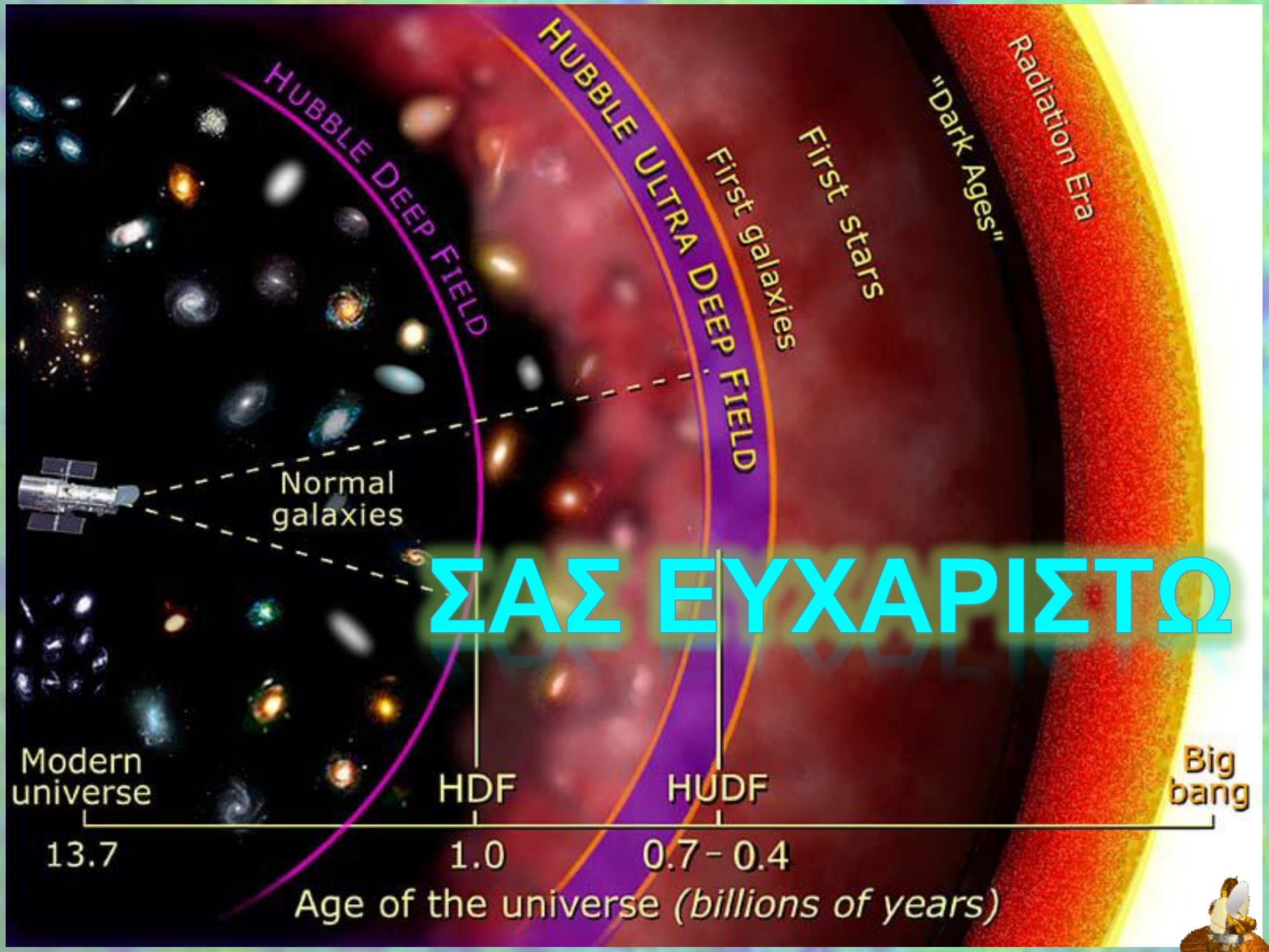
Οι μεγάλες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία στον ουρανό είναι οι πρόδρομοι της δομής μεγάλης κλίμακας που βλέπουμε γύρω μας στο παρών.

Μικρές μεταβολές στην πυκνότητα της ύλης στο πρώιμο σύμπαν αφήνουν ίχνος στη CMB με τη μορφή των μικρών διακυμάνσεων της T από σημείο σε σημείο (μεγάλης συγκέντρωσης δομές, cosmic web) σήμερα..

Υπάρχουν και άλλα είδη αστρονομίας εκτός της οπτικής, και μάλιστα το σύμπαν εκπέμπει το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας του σε άλλα μήκη κύματος

<u>Η γνώση είναι αλυσίδα.</u> Οι Penzias & Wilson πήραν το NOBEL αλλά το άξιζαν όλοι αφού όλοι συνέβαλαν στη γνώση της CMB. Έχει νόημα η πρωτιά?

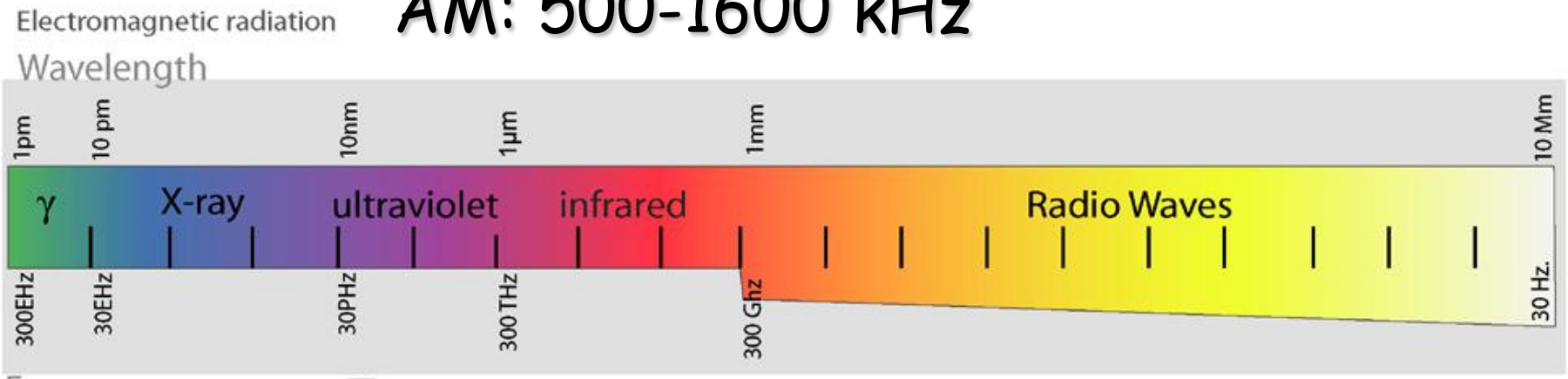
Επειδή δεν βλέπουμε κάτι, δε σημαίνει ότι δεν υπάρχει

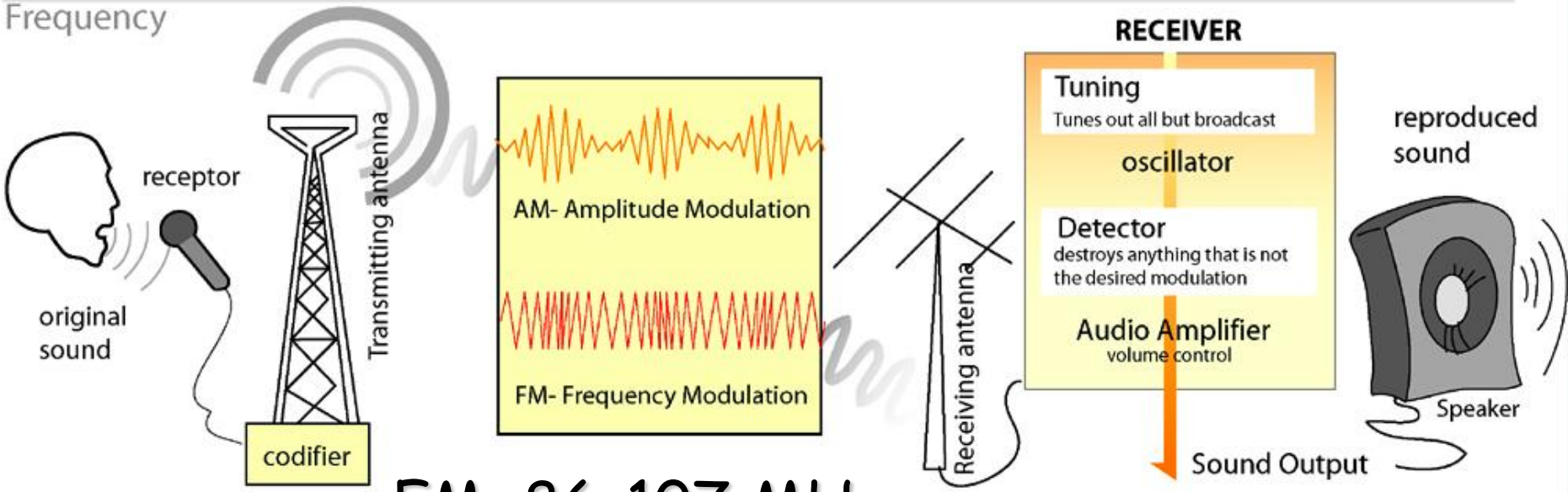


ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ

Τα δαδιοκύματα και ο ήχος είναι τελείως διαφορετικά φαινόμενα

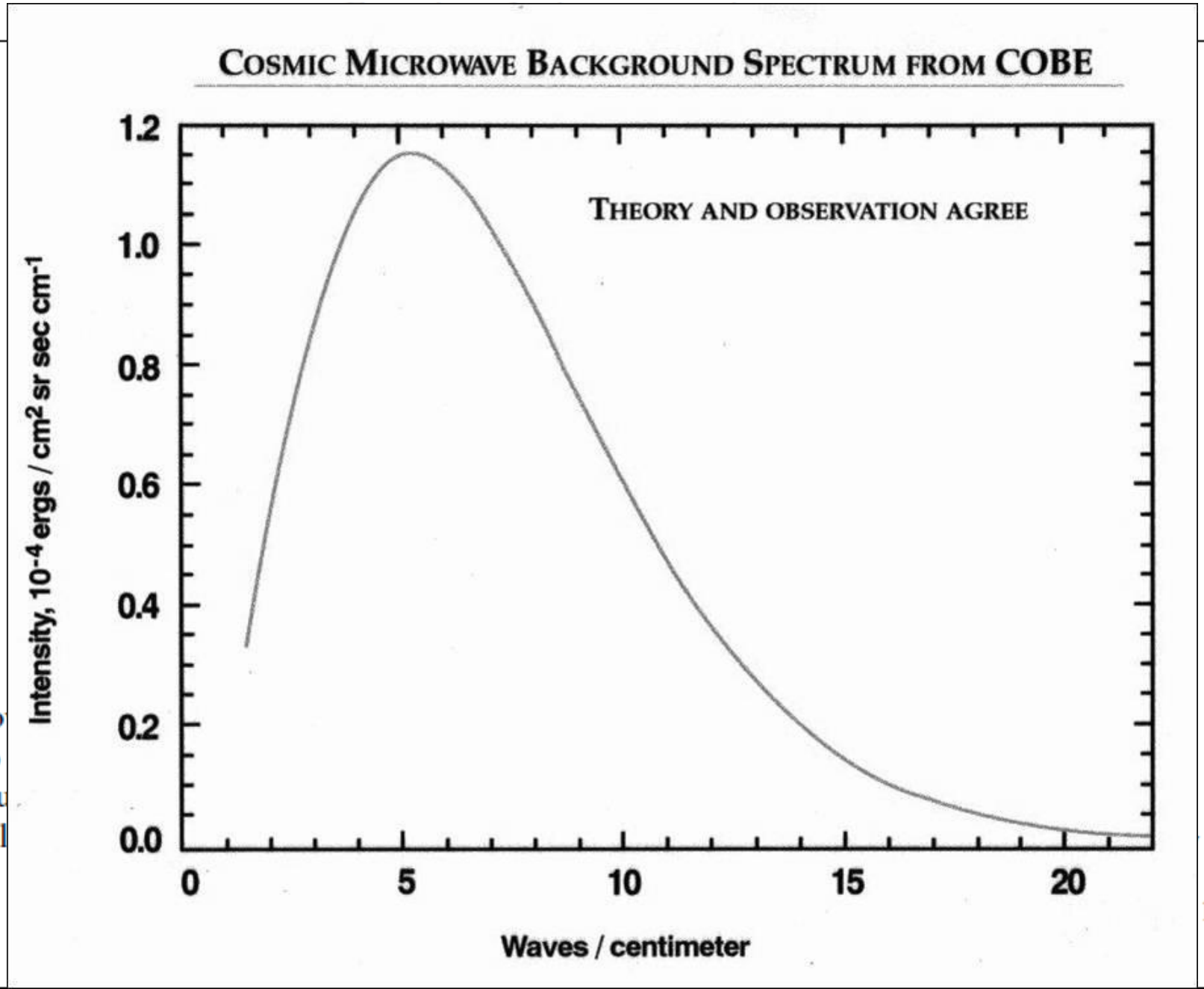
AM: 500-1600 kHz





FM: 86-107 MHz

CMB ≠ Κοσμική Ακτινοβολία



Lo
do
(bu
col

…)

1991