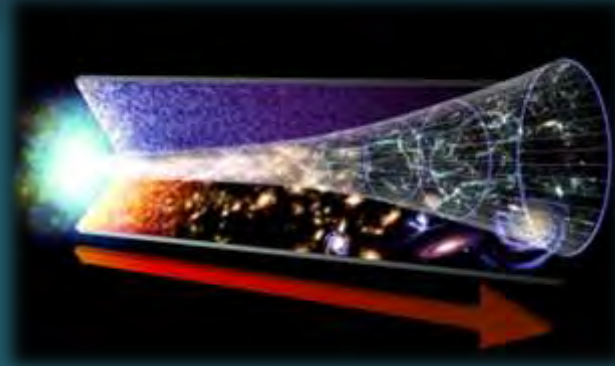


COSMIC microwave



BACKGROUND RADIATION



Δρ. Νεκταρία Α. Β. Γκιζάνη
ΣΘΕΤ
Ελληνικό Ανοικτό Παν/μιο

Μετά την ομιλία θα γνωρίζετε:

Τι είναι η Cosmic Microwave Background (CMB)

Γιατί την παρατηρούμε στα μικροκύματα

Γιατί είναι Σημαντική για το Σύμπαν

Λίγα για την ιστορία της ανακάλυψης

Πώς γίνεται η παρατήρησή της

Τι είναι οι Ανισοτροπίες της CMB

Ήχος από το Σύμπαν

Big Bang – Μεγάλη Έκρηξη



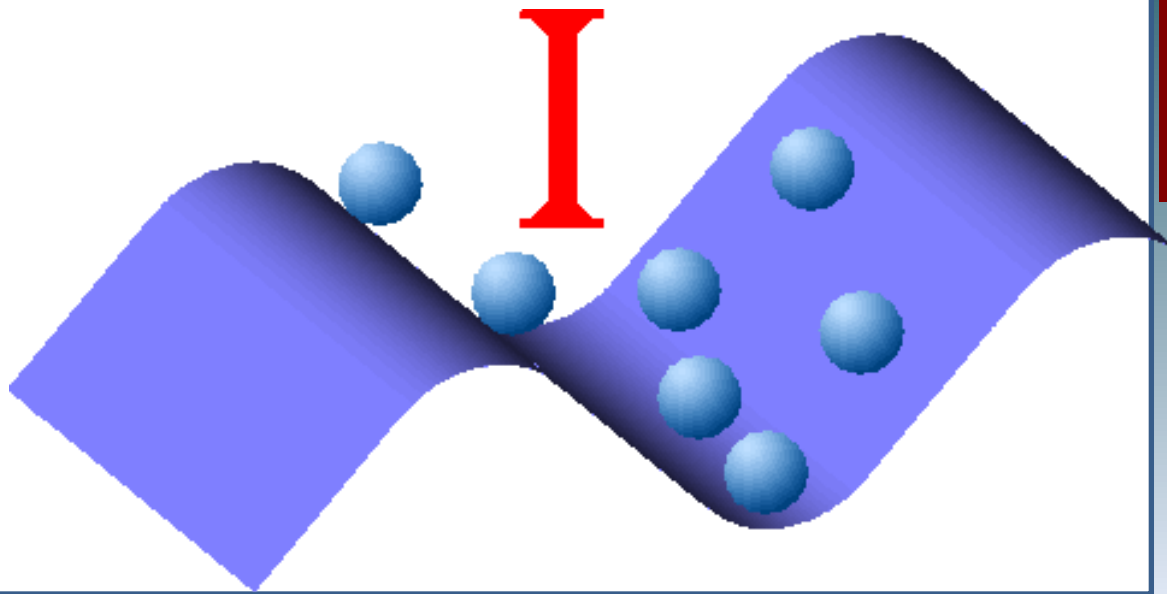
Δε συμβαίνει σε ένα σημείο όπως μια έκρηξη, αλλά εμφανίζεται χωρικά ταυτόχρονα παντού στο σύμπαν. Η περιοχή αυτή που σήμερα 'βλέπουμε' δεν ήταν μεγαλύτερη από ένα σημείο

Κοσμολογία

Αρχή, Εξέλιξη, Πεπρωμένο

υλικού σύμπαντος

Βαρυτική αστάθεια από μικρές διακυμάνσεις της πυκνότητας στο πρώιμο σύμπαν: Σχηματισμός αστεριών, γαλαξιών, σμηνών γαλαξιών ("structure")



Ripples στην ενέργεια
του αρχέγονου φωτός
του BB (COBE, 1992)



Γέννηση Γαλαξιών

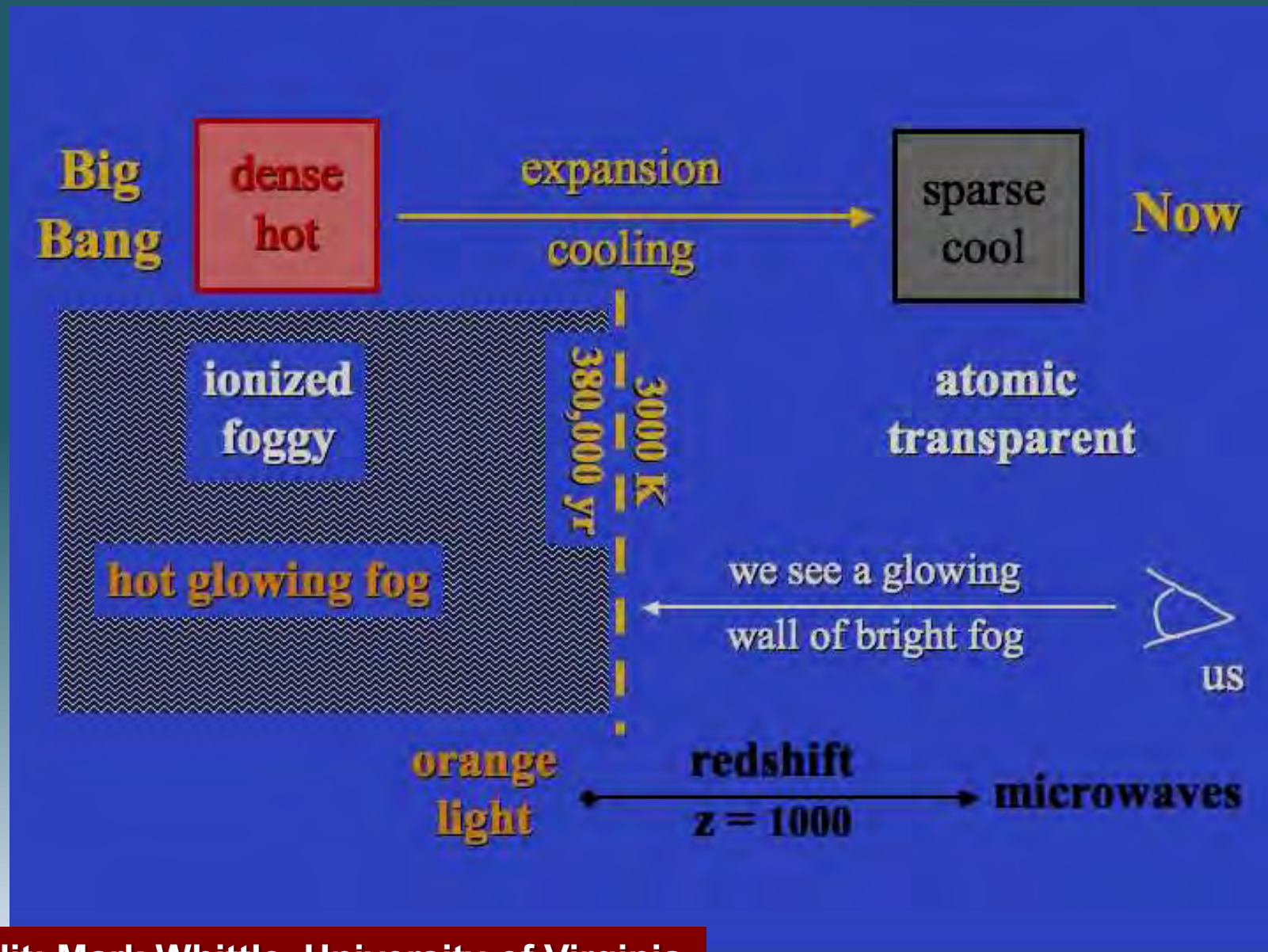
Big Bang ή το θερμό μοντέλο διαστολής του Σύμπαντος

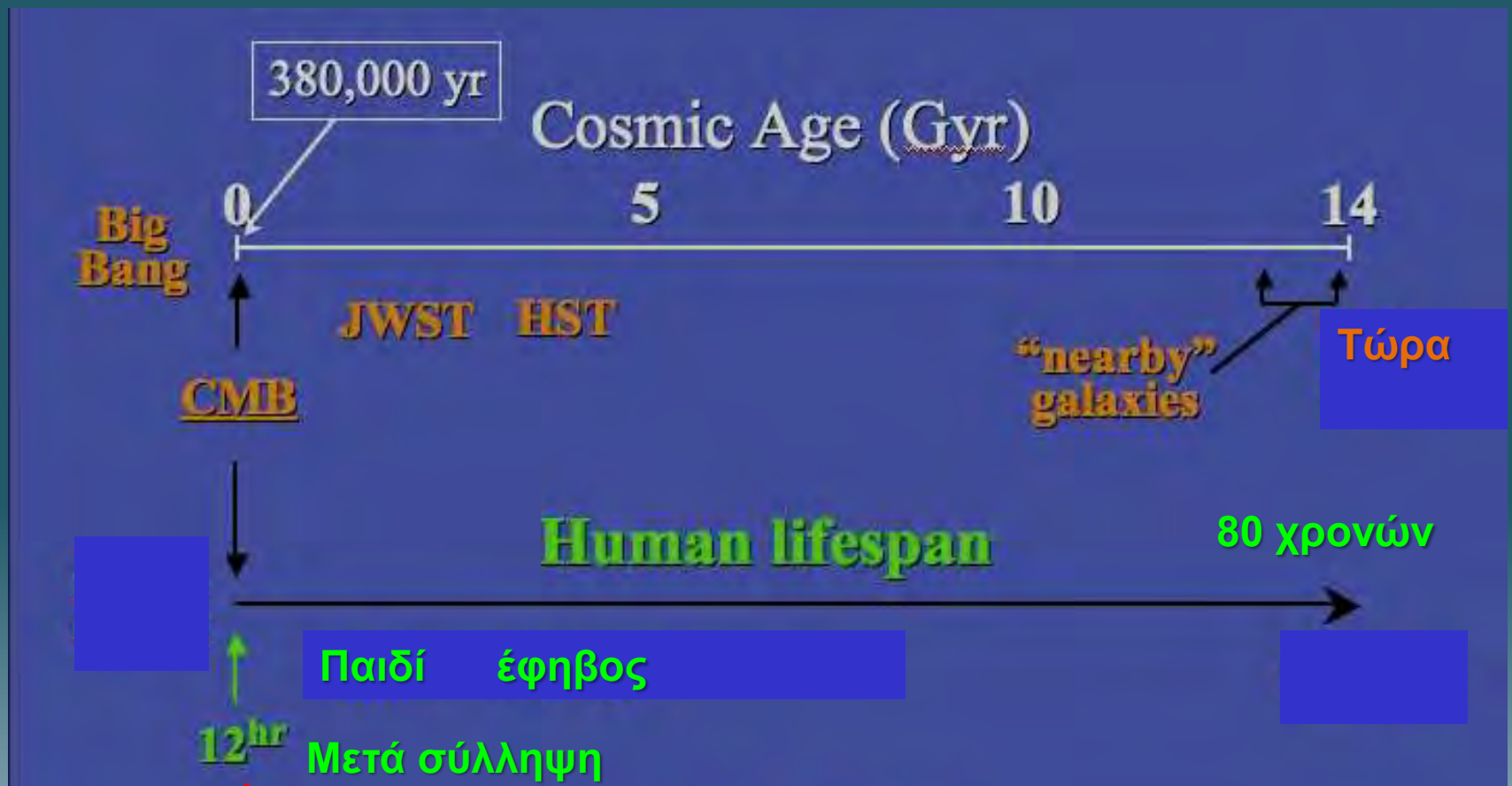
- 1) Το σύμπαν αρχικά ήταν απίστευτα καυτό, λαμπρό, πυκνό και ομιχλώδες
- 2) μετά άρχισε να διαστέλλεται και επομένως να ψύχεται. Απόδειξη γι' αυτό είναι η απομάκρυνση των γαλαξιών που παρατηρείται.

Μετά από ~ 400 000 χρόνια, σύμπαν ~ 1/1100 παρών μέγεθος, με $T < 2760 \text{ }^{\circ}\text{K}$ → αποσύζευξη ακτινοβολίας και μάζας = επανασύνδεση (ηλεκτρόνια συλλαμβάνονται από πρωτόνια = άτομα) → συμπάν γίνεται διαφανές.

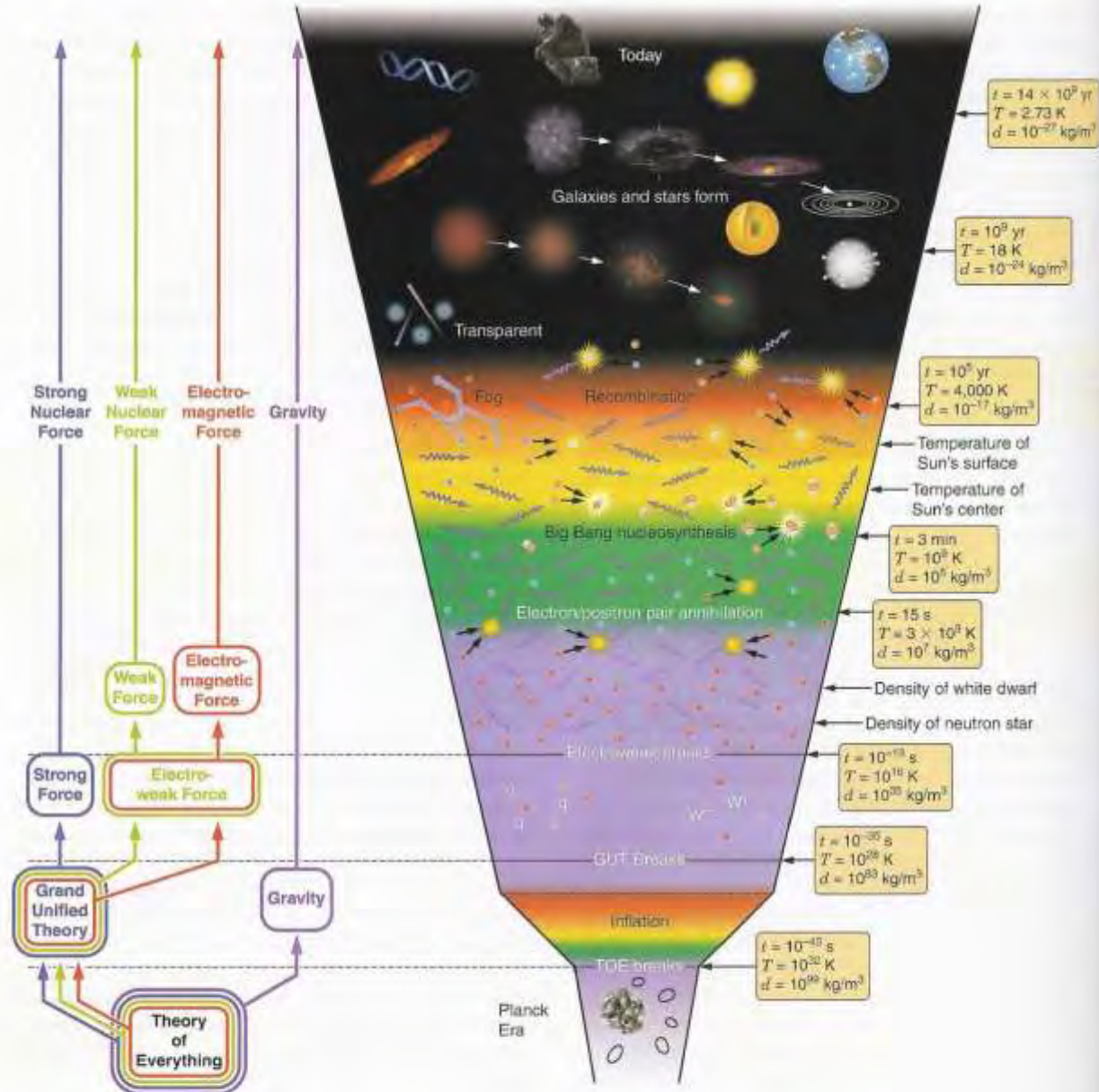
- 3) Οποτε όταν κοιτάμε μέσα από το διαφανές σύμπαν, το βλέμμα μας συναντά τελικά ένα φωτεινό τείχο από μια θολούρα που φωτοβολεί
- 4) Όταν το φως από τον τείχο αυτό έρχεται προς τα εμάς διασχίζοντας Σύμπαν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας μεγαλώνει χιλιάδες φορές λόγω της διαστολής του σύμπαντος, και τελικά ανιχνεύεται στα μικροκύματα

Σχηματικά



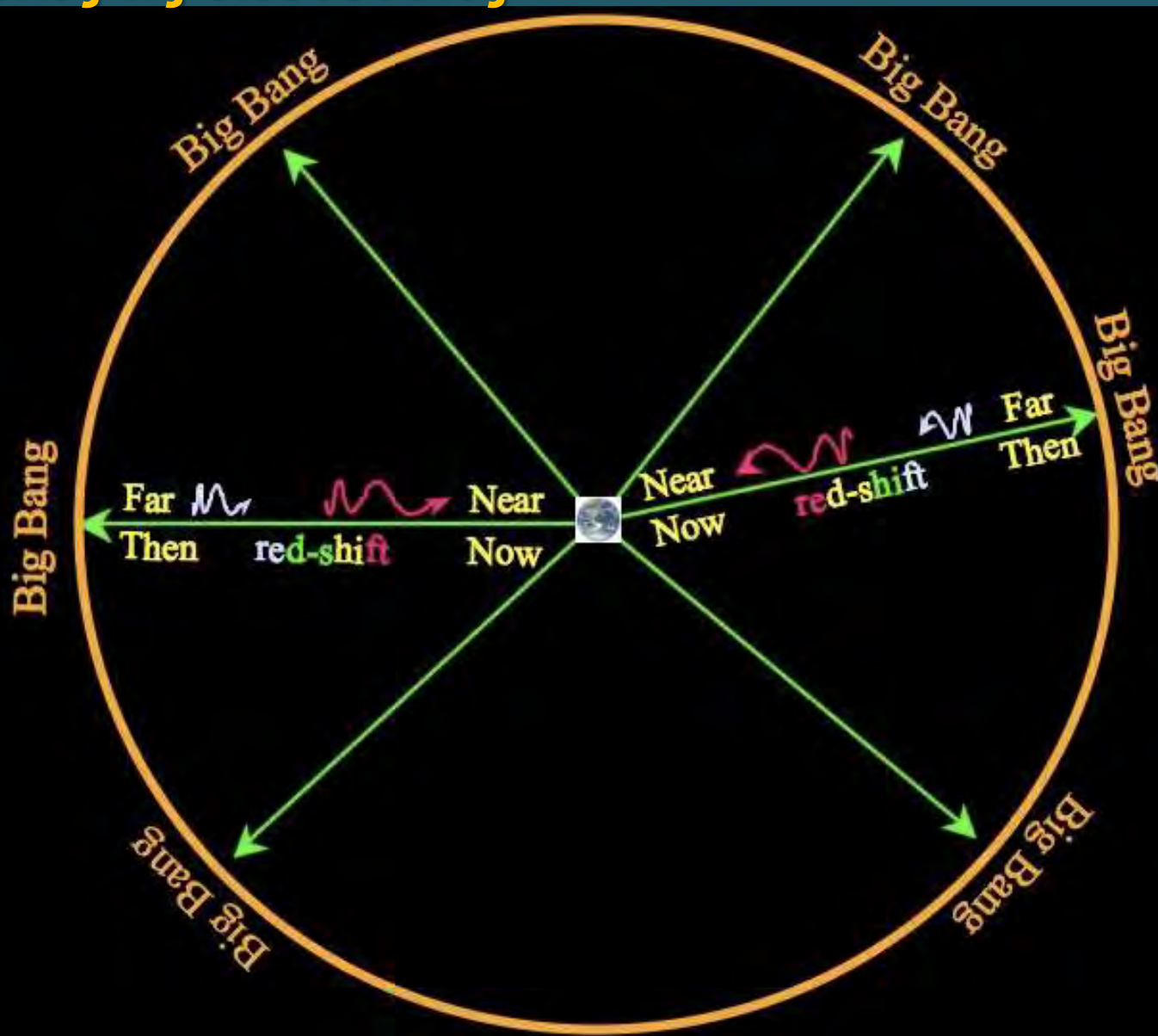


Η ομίχλη
καθάρισε



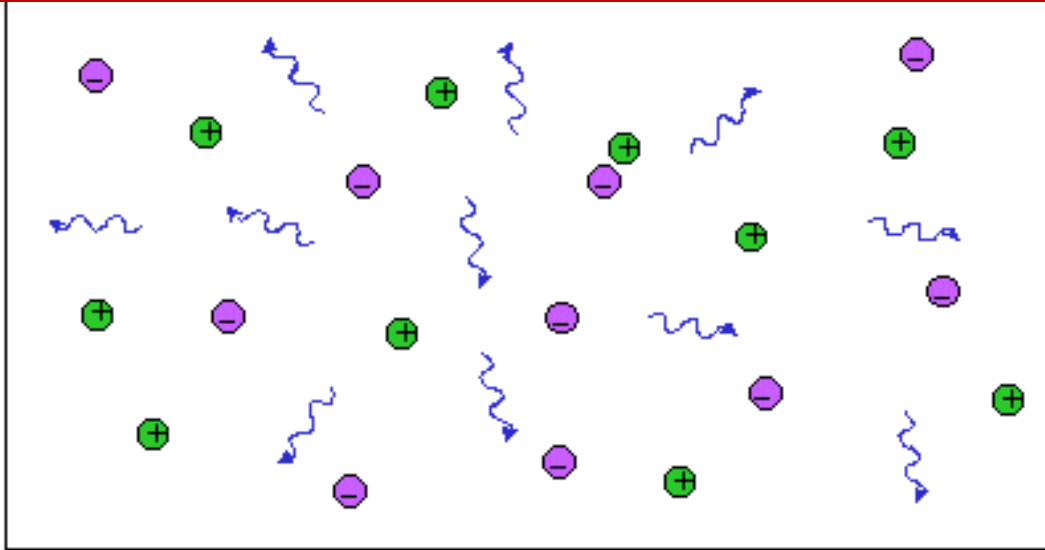
Η Ιστορία των
πάντων!

Το φλας απο το BB είναι γύρω μας. Βλέπουμε τον τείχο από όλες τις διευθύνσεις



ΕΠΟΧΗ ΕΠΑΝΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Ηλικία σύμπαντος $\leq 300,000$ έτη



Ελεύθερα
ηλεκτρόνια

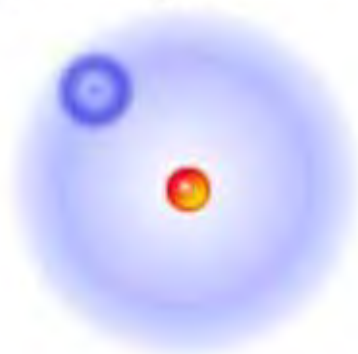
$T \approx 3000 \text{ }^\circ\text{K}$

Δημιουργία
ατόμων

Recombination Era

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	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
5	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
6	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
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides			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	
Actinides			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Hydrogen Atom



$$1 \text{ \AA} = 100,000 \text{ fm}$$





Ο χώρος μεγαλώνει, το ίδιο και το μήκος κύματος - ψύξη



A wave is emitted.



As time passes, space
(and the wave) expands.



A longer wave reaches the
telescope than the one that left.



Cosmic Background Radiation

- Είναι το απομεινάρι της ακτινοβολίας του
Big Bang
- Παρατηρήσιμη Απόδειξη BB!
Επαληθεύει τη θεωρία

Άλλα Ονόματα

Cosmic microwave background (CMB)
Κοσμική Μικροκυματική Ακτινοβολία
Υποβάθρου

Primordial Light/Radiation

Αρχέγονο Φως/Ακτινοβολία

Η επιφάνεια του τελευταίου σκεδασμού
τείχος φωτός

Απομεινάρι Θερμότητας από BB

Θερμοκρασία του Σύμπαντος

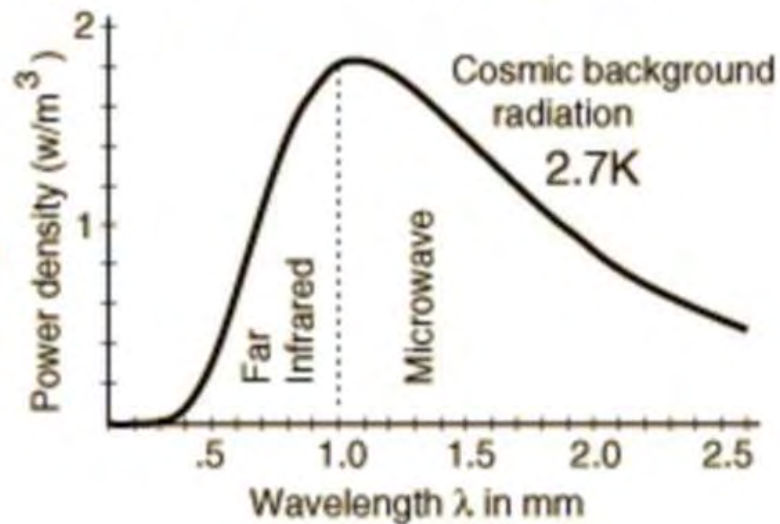
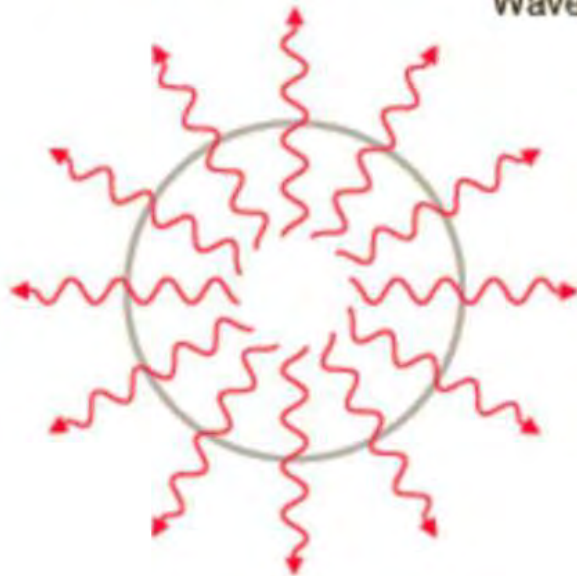
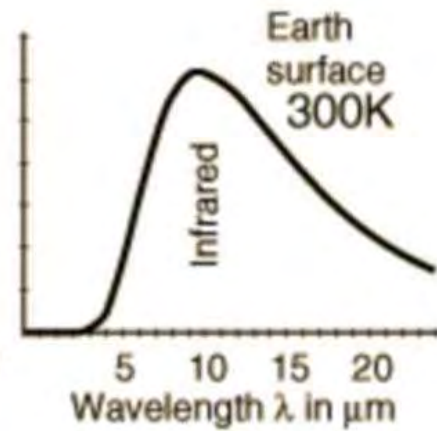
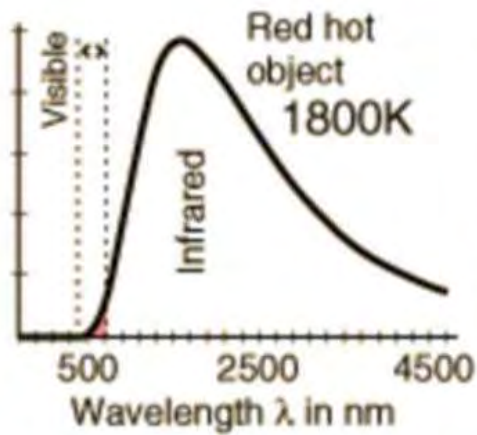
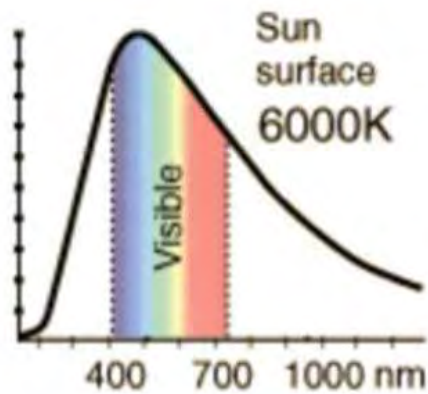
Ο Απόηχος του Σύμπαντος

Γιατί είναι σημαντική?

- CMB είναι η “μωρουδιακή εικόνα” του Σύμπαντος
 - Η παρούσα θερμοκρασία και ισοτροπία θέτει όρια στο πώς άλλαξε η θερμοκρασία με το χρόνο
- Καθιερώνει το χρονικό πλαίσιο της δημιουργίας του Γαλαξία-άλλων γαλαξιών

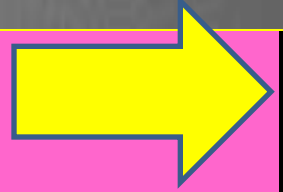
ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

- Άρχισαν να την ψάχνουν τη 10ετία του 1960. Bell Labs τη βρήκαν έμμεσα
- Η ύπαρξή της επιβεβαιώθηκε από το δορυφόρο COBE
- Υπάρχει σε οποιαδήποτε διεύθυνση
- Η μετρούμενη καμπύλη μέλανος σώματος αντιστοιχεί σε αντικείμενο με θερμοκρασία $2.7 \text{ }^{\circ}\text{K}$
 $\sim -16.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$



Μικροκύματα

Radio spectrum



ELF SLF ULF

3 Hz 30 Hz 300 Hz

30 Hz 300 Hz 3 kHz

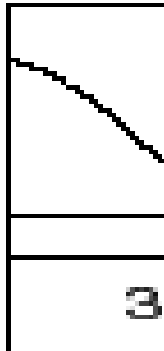
SHF EHF

3 GHz 30 GHz

30 GHz 300 GHz



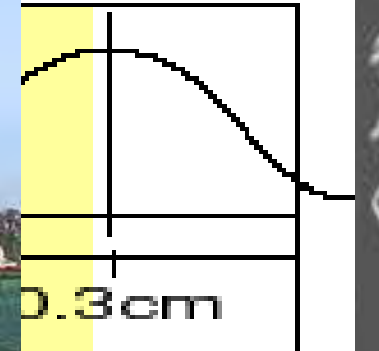
Microwaves



Radar Bands:

L S C X K

ως σε
cm,
(2.2 cm)



WAVELENGTH

Giancoli, Douglas. <i>Physics 5th Revised Edition</i> . 2002: 1072.	"They made precise measurements at a wavelength $\lambda = 7.35$ cm, which is the microwave region of the electromagnetic spectrum."	408 GHz
Glossary. Cosmic Journeys.	"Cosmic background radiation; primal glow The background of radiation mostly in the frequency	0.3–300 GHz

Νόμος Planck

Max: 160.2 GHz ($\lambda = 1.873$ mm)

S.T. Staggs, N.C. Jarosik, S.S. Meyer, and D.T. Wilkinson. <i>An Absolute Measurement Of The Cosmic Microwave Background Radiation Temperature</i>	"The Far-Infrared Absolute Spectrophotometer (FIRAS) instrument on the COBE satellite measured the cmBR spectrum between 60 and 630 GHz very precisely (Fixsen et al. 1996), determining T_{CMBR} to be 2.728 ± 0.004 K (95% CL) and constraining $y < 1.5 \times 10^{-5}$ and	60–630 GHz
--	---	------------

Νόμος Wien

Max: 283 GHz ($\lambda = 1.06$ mm)

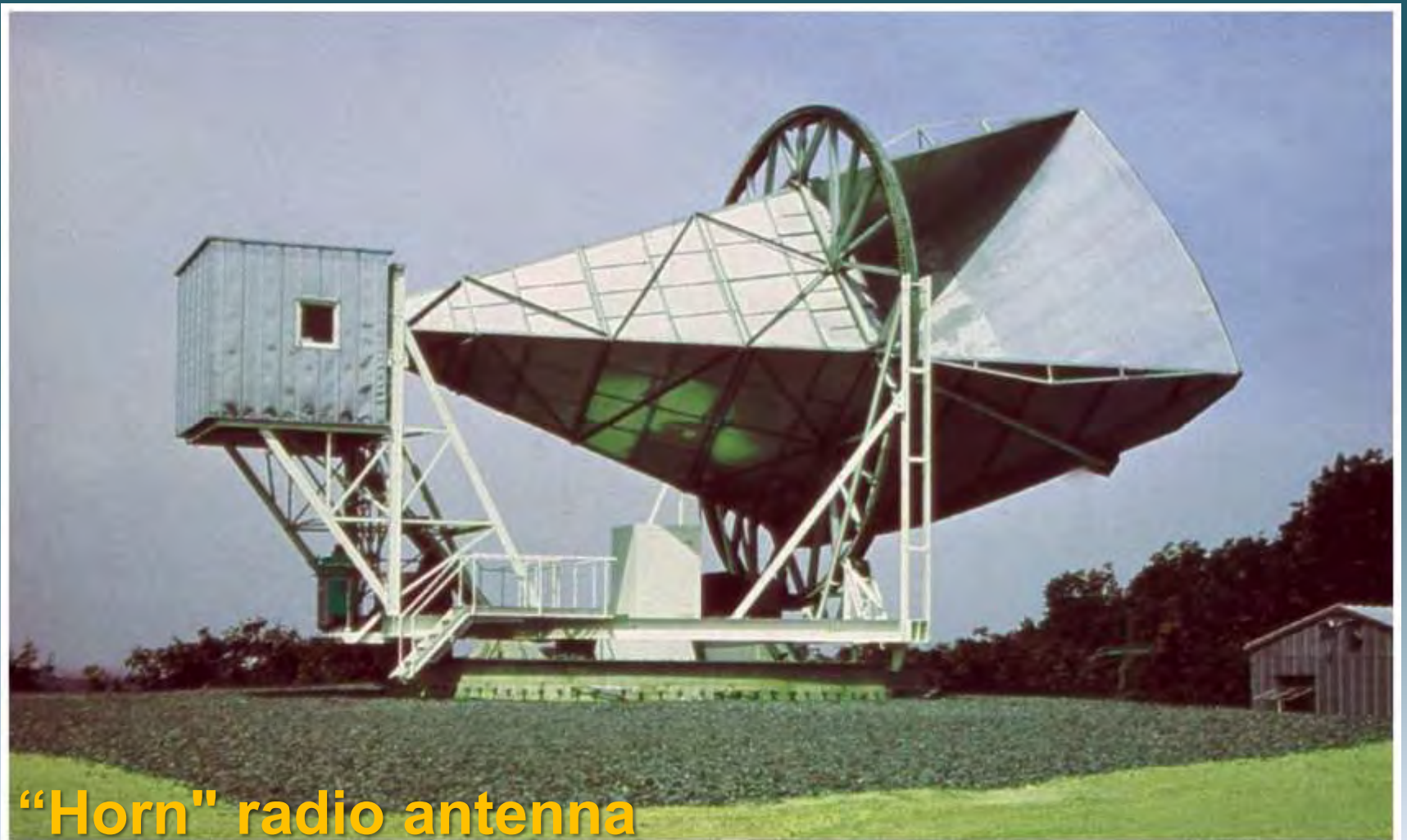
Parker, Sybil P. <i>McGraw Hill Encyclopedia of Astronomy</i> . New York: McGraw Hill, 1983.	"[graph]"	530 Hz
Scott, Douglas. <i>Questions by e-mail</i> . University of British Columbia.	"For your information: there are about 412 cmB photons per cubic cm (with an uncertainty of about 1); the energy density is the equivalent of 0.261 electron Volts per cubic cm (again uncertain by about +/-1 in the last decimal place); the equivalent mass density is 4.66×10^{-31} kilogrammes per cubic metre; the peak of the spectrum is at a frequency of 160.4 GHz (uncertain by about +/- 0.1); and the peak intensity of the background is about 385 MJy/Sr (that's MegaJanskys per Steradian, which is not a unit you meet everyday!)."	160.4 GHz

Penzias & Wilson, 1965, (Bell-Labs)



CMB Penzias & Wilson, Nobel 1978

Χρησιμοποιούνται ειδικά συντονισμένες κεραίες και receivers για μέτρηση φωτονίων μικροκυμάτων.



“Horn” radio antenna

A good CMB experiment has

- high sensitivity ($dT/T \sim 10E-6$)
- high resolution ($l \sim 1/\theta$)
- large sky coverage ($dl \sim 1/d\theta$)
- good scanning strategy (stripes)
- many frequencies (foreground removal)
- polarimeters (more info)

3 types of experiments:

- ground
- balloon
- space

Future: high-sensitivity polarization studies.

CMB Experiments

Space Based

Experiment	Description	Year	Data Products
COBE	COBE (Cosmic Background Explorer) was developed by NASA's Goddard Space Flight Center to measure the diffuse infrared and microwave radiation from the early universe.	1989-1993	DATA
Planck	Planck is the third Medium-Sized Mission (M3) of ESA's Horizon 2000 Scientific Program. The basic scientific goal of the Planck mission is to measure CMB anisotropies at all angular scales larger than 5 to 10 arcminutes over the entire sky with a precision of ~2 parts per million.	2010-Present	N/A
Relikt	Relikt-1 on Prognoz 9 mapped the sky at 37 GHz with an angular resolution of 5.5 degrees and a temperature resolution of 0.2 mK.	1983-1984	N/A
SPOrt	SPOrt (Sky Polarization Observatory) is a planned International Space Station experiment, intended to measure the sky polarization in the frequency range 20-90 GHz.	Future	N/A
WMAP	WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) was designed to determine the geometry, content, and evolution of the universe via a 13 arcminute FWHM resolution full sky map of the temperature anisotropy of the cosmic microwave background radiation.	2001-2010	DATA

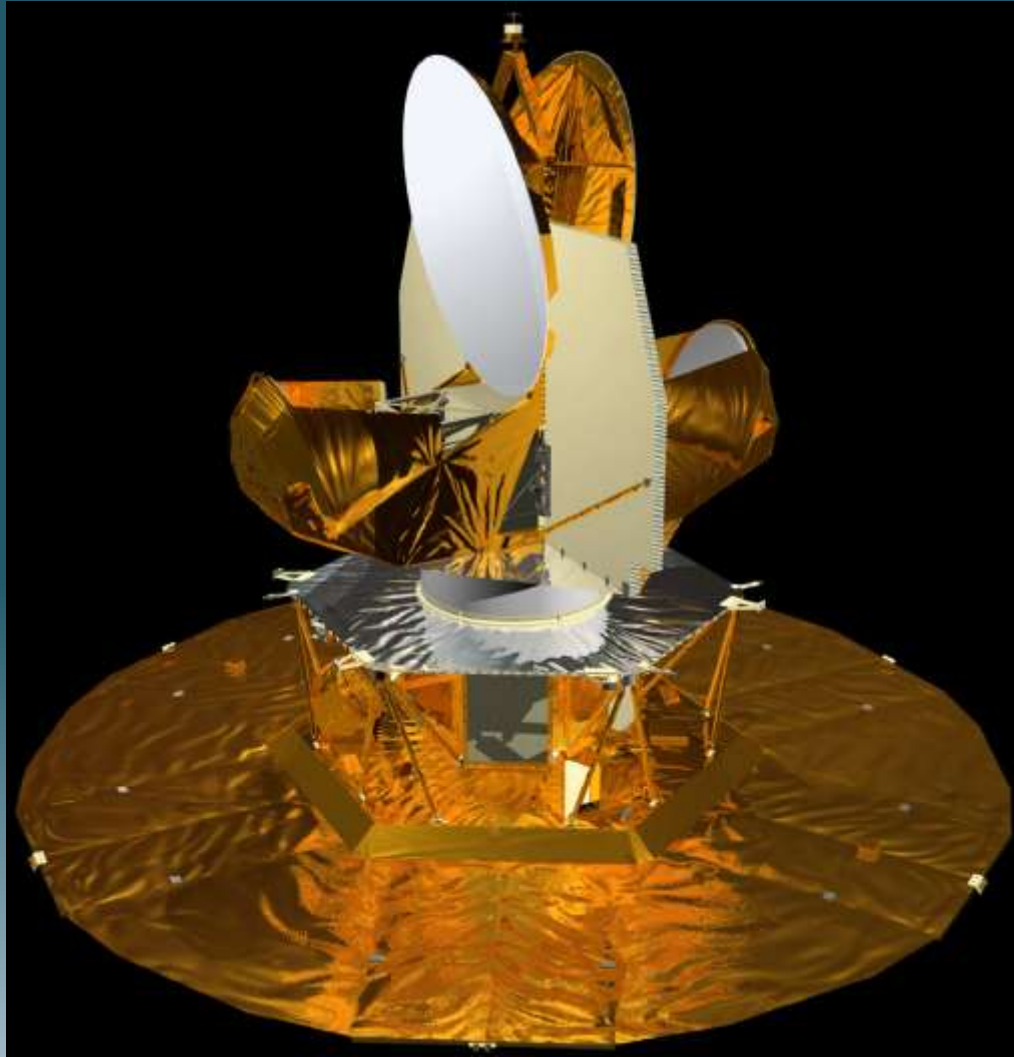
CMB Anisotropy Experiments

Links to Project Website	Data At LAMBDA	Full Name	Year	Status	Frequency (GHz)	Detectors	Polarization Values	Type
ACBAR	Power Spectra	Arcminute Cosmology Bolometer Array	 2001-date	continues	150, 219, 274	Bolometer	No	Ground

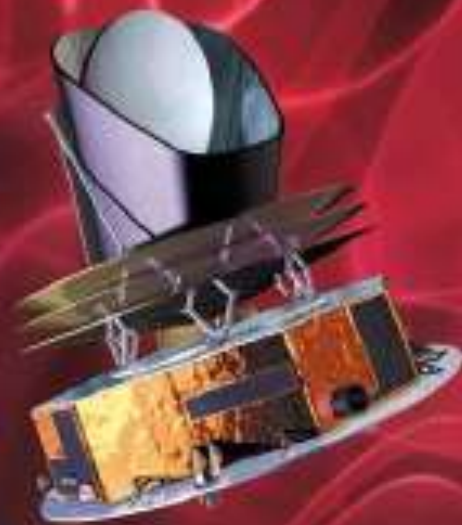


COBE

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe



Δορυφόρος WMAP



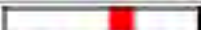
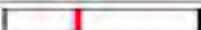
 **esa**

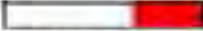
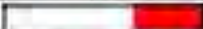


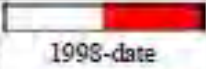
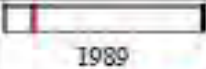
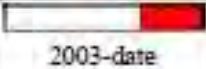
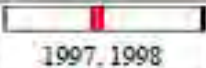
PLANCK

(2007)

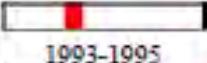
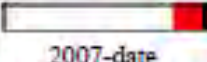
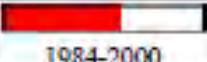
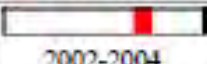
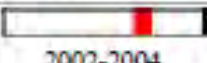
Looking back to the dawn of time
Un regard vers l'aube du temps

		Receiver						
ACME/ HACME	-	Advanced Cosmic Microwave Explorer/ HEMT+ACME	 1988-1996	completed	26-35 and 38-45	HEMT	No	Ground
ACT	DATA	Atacama Cosmology Telescope	 2008-date	continues	148, 218, 277	Bolometer	No	Ground
AMI		Arcminute MicroKelvin Imager	 2005-date	continues	12-18	Interferometer	No	Ground
AMiBA	-	Array for Microwave Background Anisotropy	 2007-date	continues	90	-	Yes	Ground
APACHE	-	Antarctic Plateau Anisotropy CHasing Experiment	 1995-1996	completed	100, 150, 250	Bolometer	No	Ground
Archeops	Power Spectra	N/A	 1999-2002	completed	143, 217, 353, 545	Bolometer	Yes	Balloon
ARGO	-	N/A	 1988, 1990, 1993	completed	150-600	Bolometer	No	Balloon
ATCA	-	Australia Telescope Compact Array	 1991-1997	completed	8.7	HEMT	No	Ground
BAM	-	Balloon-borne Anisotropy Measurement	 1995	completed	110-250	Liquid-helium cooled, Fourier transform spectrometer	No	Balloon

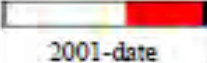
BaR-SPOn	-	Balloon-borne Radiometers for Sky Polarisation Observations	-	cancelled	32, 90	Polarizer/OMT	Yes	Balloon
BEAST	-	Background Emission Anisotropy Scanning Telescope	 2000-date	continues	25-35 and 38-45	HEMT	No	Balloon, Ground
BICEP	-	Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization	 2005-2008	completed	-	Bolometer	-	Ground
BIMA	-	Berkeley Illinois Maryland Associations	 1986-2004	completed	70-116, and 210-270	SIS	-	Ground
BOOMERanG	-	Balloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics	 1997-2003	completed	90-420	Bolometer	Yes	Balloon
CAPMAP	-	Cosmic Anisotropy Polarization MAPper	 2002-date	continues	90 and 40	MMIC/ HEMT	Yes	Ground
CAT	-	Cosmic Anisotropy Telescope	 1994-1997	completed	13-17	Interferometer/ HEMT	No	Ground
CBI	Power Spectra	Cosmic Background Imager	 2002-date	continues	26-36, in 10 channels	Interferometer/ HEMT	No	Ground

CG	-	Cosmological Gene	 1997-date	continues	0.6 to 32	HEMT	No	Ground
Clover	-	N/A	-	cancelled	97, 150 and 230	Bolometer	Yes	Ground
COSMOSOMAS	-	The experiment consists in two twin instruments (COSMO11 and COSMO15). One OF them (COSMO11) permits TO measure polarization.	 1998-date	Continues	10-18	HEMT		Ground
DASI	-	Degree Angular Scale Interferometer	 2001-2003	completed	26-36 in 10 bands	HEMT	Yes	Ground
EBEX	-	The E and B Experiment	-	future	150-450	Bolometer	Yes	Balloon
FIRS	-	Far Infra- Red Survey	 1989	completed	170-680	Bolometer	No	Balloon
KUPID	-	KU-band Polarization IDentifier	 2003-date	continues	12-18	HEMT	Yes	Ground
MAT	-	Mobile Anisotropy Telescope	 1997, 1998	completed	30-140	HEMT/SIS	No	Ground
MAXIMA	Power Spectra and Sky Maps	Millimeter Anisotropy eXperiment Imaging Array	 1995, 1998, 1999	completed	150-420	Bolometer	No	Balloon
MBI-B	-	Millimeter-Wave	-	future	90	Bolometer	Yes	Ground

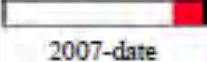
		Bolometric Interferometer						
MINT	-	Millimeter INTerferometer	-	future	150	SIS	No	Ground
MSAM	Power Spectra	Medium Scale Anisotropy Measurement	 1992-1997	completed	150-650	Bolometer	No	Ballon
PIQUE	-	Princeton I, Q, and U Experiment	 2002	completed	90	Bolometer	Yes	Ballon
POLAR	-	Polarization Observations of Large Angular Regions	 2000	continues	26-46	HEMT	Yes	Ground
POLARBeaR	-	POLARization of Background microwave Radiation	-	future	90-240	Bolometer	Yes	Ground
Polatron	-	N/A	-	cancelled	100	Bolometer	Yes	Ground
Python	-	N/A	 1992-1997	completed	30-90	Bolometer/ HEMT	No	Ground
QMAP	Sky Maps	N/A	 1996	completed	30-140	HEMT/SIS	No	Balloon
QMASK	Power Spectra and Sky Maps	QMAP and Saskatoon (SK) Data Combination	-	-	-	-	-	-
QuaD	-	Quest (Q and U Extra-Galactic Sub-mm Telescope) at	 2005-2010	completed	100, 150	Bolometer	Yes	Ground

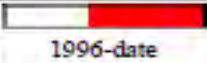
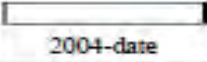
		DASI (Degree Angular Scale Interferometer)						
QUIET	-	QU Imaging Experiment	-	future	40, 90	HEMT	Yes	Ground
SK	-	Saskatoon	 1993-1995	completed	26-46	HEMT	Yes	Ground
SPT	-	South Pole Telescope	 2007-date	continues	-	Bolometer	-	Ground
Tenerife	-	N/A	 1984-2000	completed	10, 15, 33	HEMT	No	Ground
TopHat	-	N/A	 2002-2004	completed	150-720	Bolometer	No	Balloon
VSA	Power Spectra	Very Small Array	 2002-2004	completed	26-36	Interferometer/ HEMT	No	Ground

CMB Spectrum Experiments

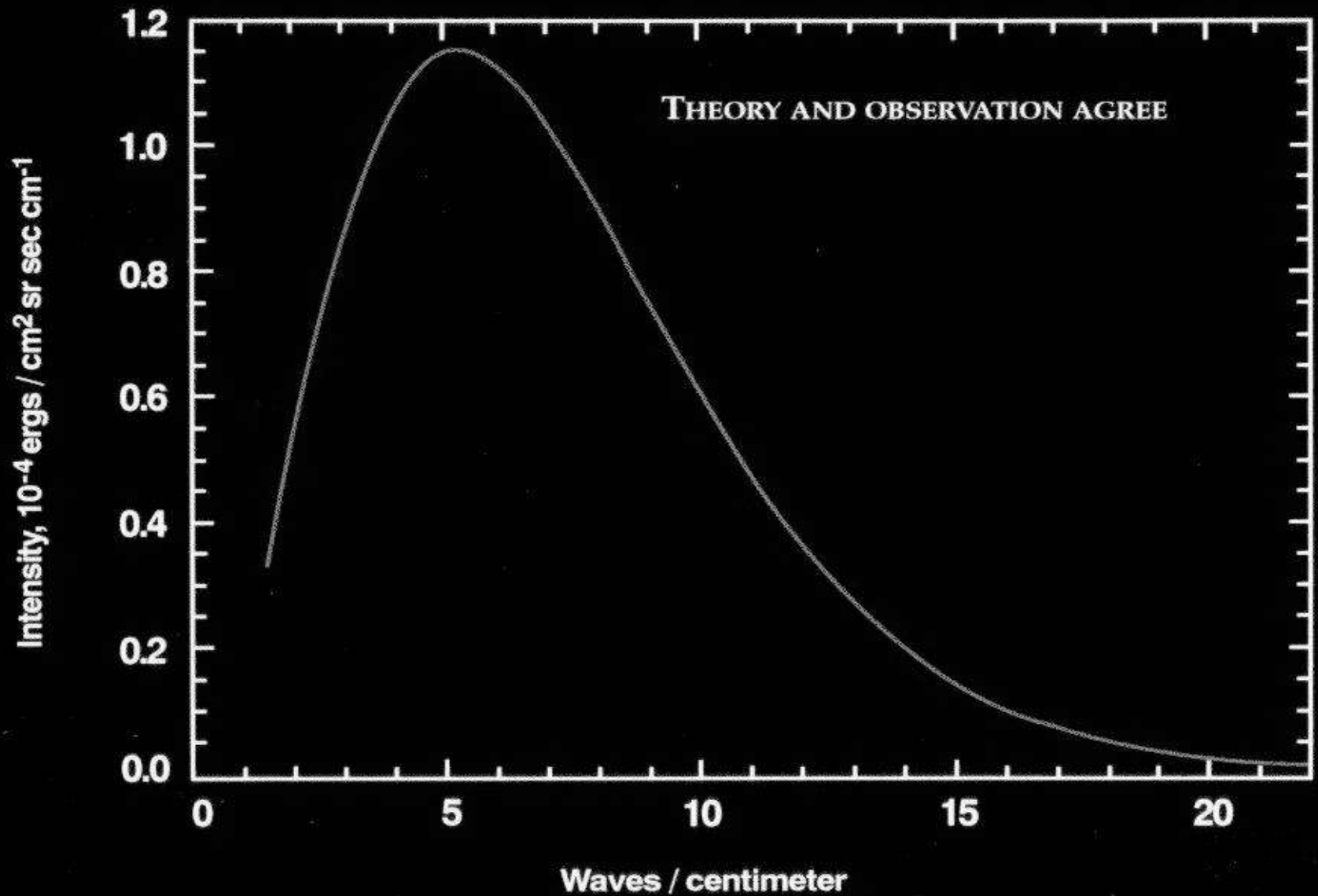
ARCADE	-	Absolute Radiometer for Cosmology, Astrophysics, and Diffuse Emission	 2001-date	continues	3, 5, 7, 10, 30, 90	HEMT	No	Balloon
------------------------	---	---	---	-----------	---------------------	------	----	---------

Sunyaev-Zeldovich Effect Experiments

APEX-SZ	-	Atacama Pathfinder Experiment	 2007-date	continues	150, 217	Bolometer	No	Ground
MUSTANG		MUltiplexed Squid/Tes Array for Ninety	-	continues	90	Bolometer	no	Ground

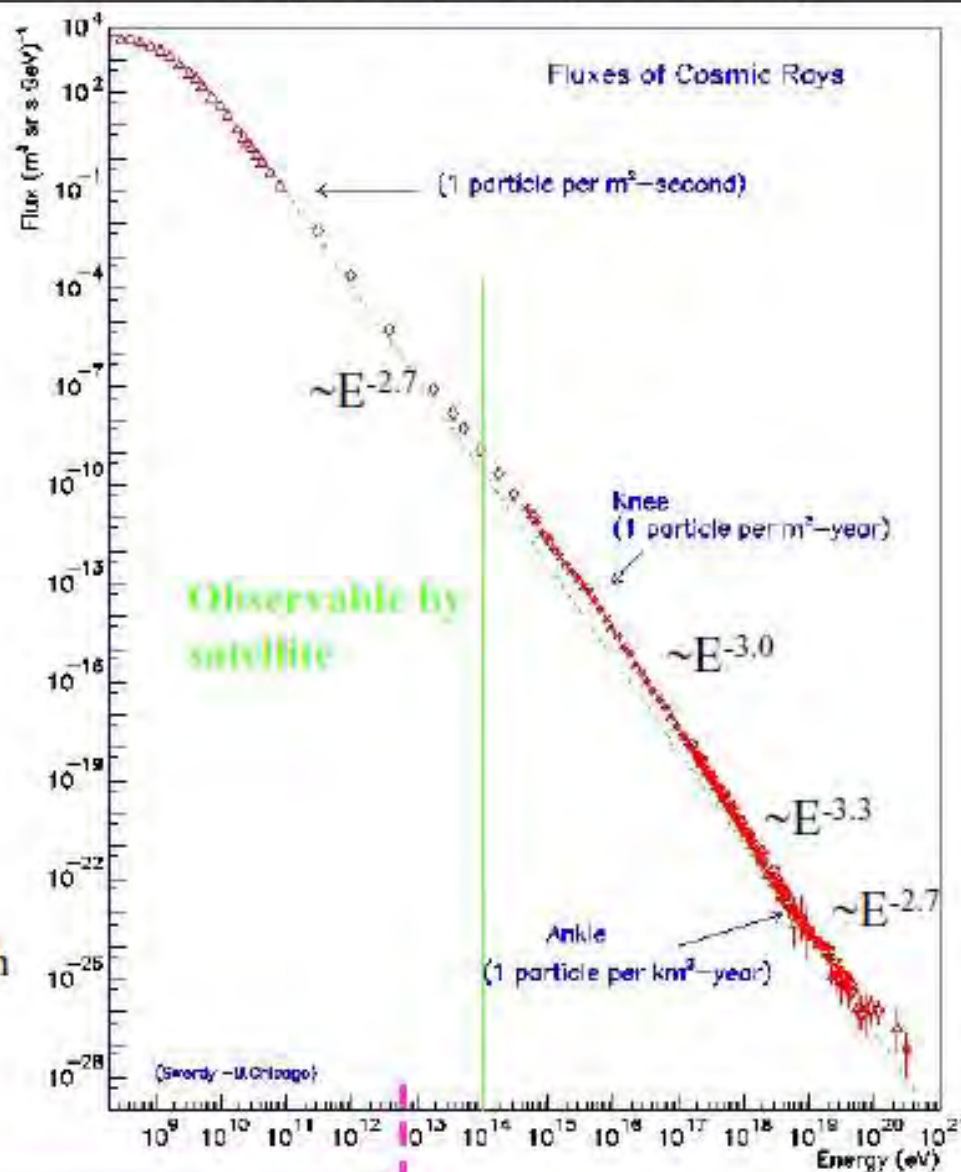
		Gigahertz						
MUSTANG2		MUltiplexed Squid/Tes Array for Ninety Gigahertz 2	-	future	90	Bolometer	No	Ground
SnZIE	-	Sunyaev-Zeldovich Infrared Experiment	 1996-date	continues	150, 220, 350	Bolometer	No	Ground
SZA	-	Sunyaev-Zeldovich Array	 2004-date	continues	26-36 and 85-115	Interferometer	No	Ground

COSMIC MICROWAVE BACKGROUND SPECTRUM FROM COBE



CMB ≠ Κοσμική Ακτινοβολία

Energies of primary cosmic rays



Lower energies
do not reach earth
(but might get
collected)

UHECR's:

40 events $> 4 \times 10^{19}$ eV
(more by Auger now ...)

7 events $> 1 \times 10^{20}$ eV
Record: October 15, 1991
Fly's Eye: 3×10^{20} eV

Χαρακτηριστικά CMB

3 βαθμοί πάνω από το απόλυτο μηδέν ($-270\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 λ (mm-cm)

400 φωτόνια ανά cm^3

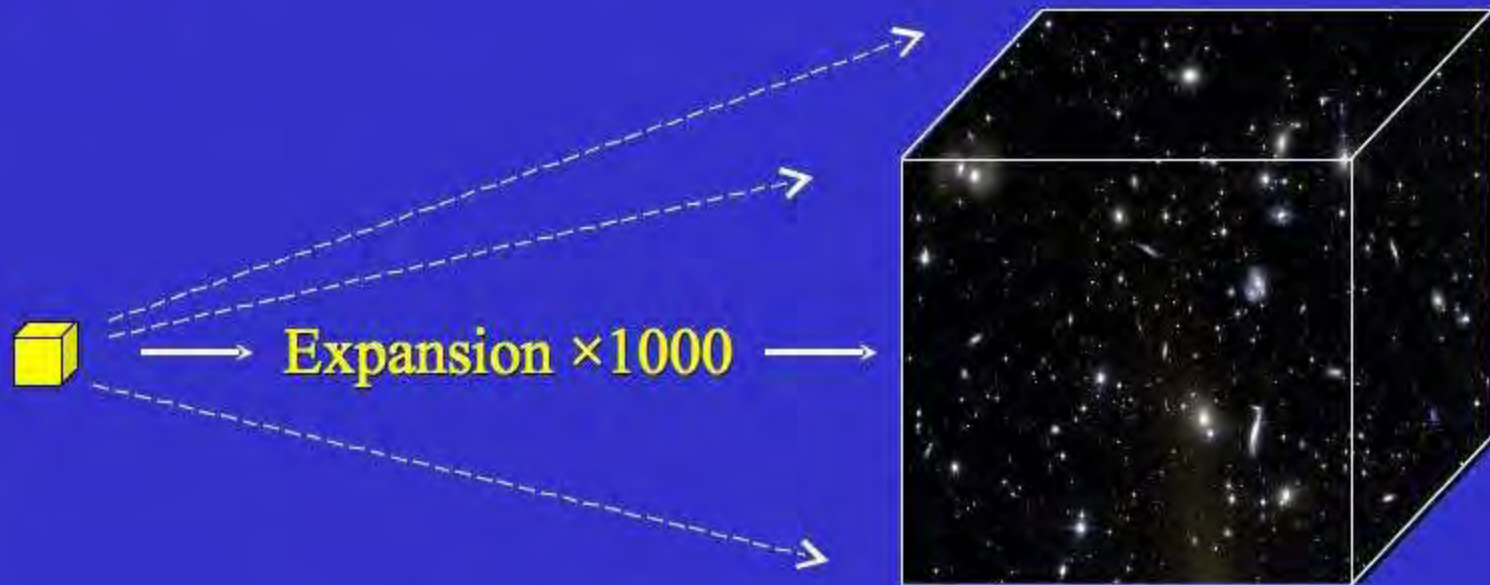
10^{13} φωτόνια / s cm^2



(Μικρό ποσοστό του «χιονιού» στην τηλεόραση)

Η θερμοκρασία είναι διαφορετική σε διαφορετικά μικρά τμήματα του ουρανού – αναλογία : 1 κομμάτι στα 100.000

Big Bang $\xrightarrow{13.7 \text{ Billion years}}$ Now

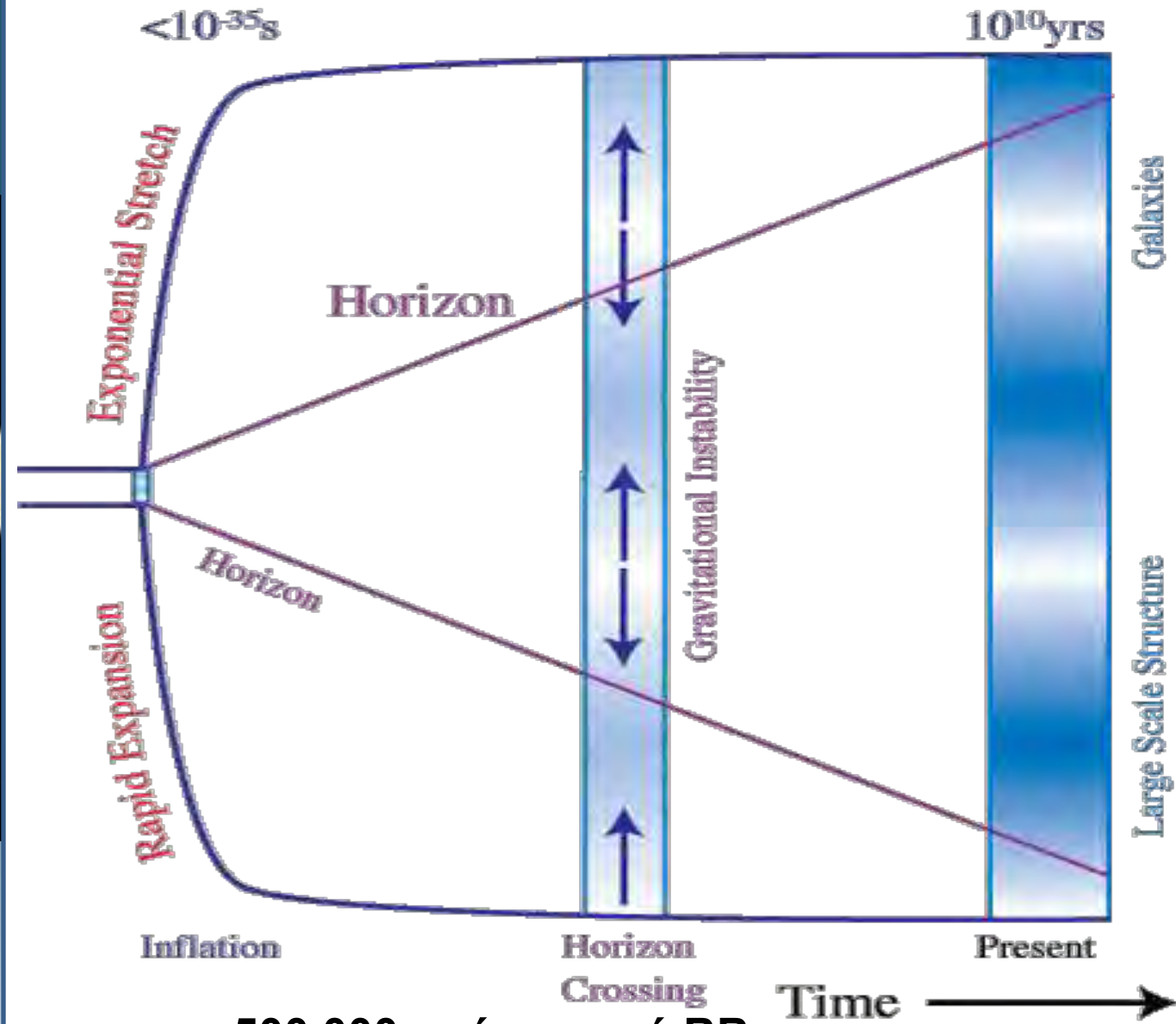


Hot glowing smooth gas $\xrightarrow{\text{cools \& "condenses" gravitationally}}$ Stars/galaxies
Vacuum between

← Radius of the Visible Universe →

Big Bang

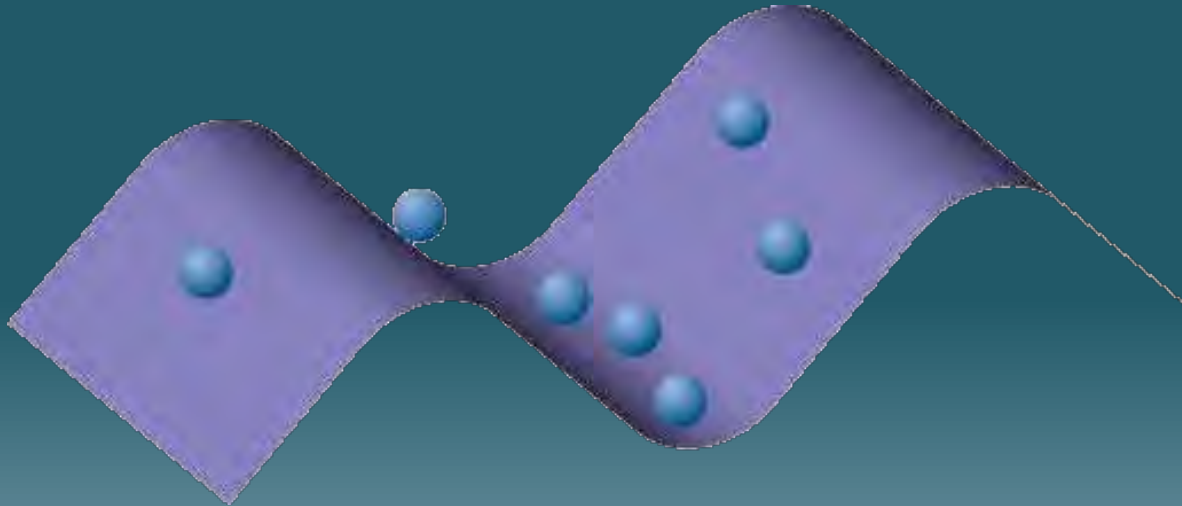
0



500 000 χρόνια μετά BB

Οι ζάρες αντιστοιχούν σε 'λόφους-hills' και 'κοιλάδες-valleys'

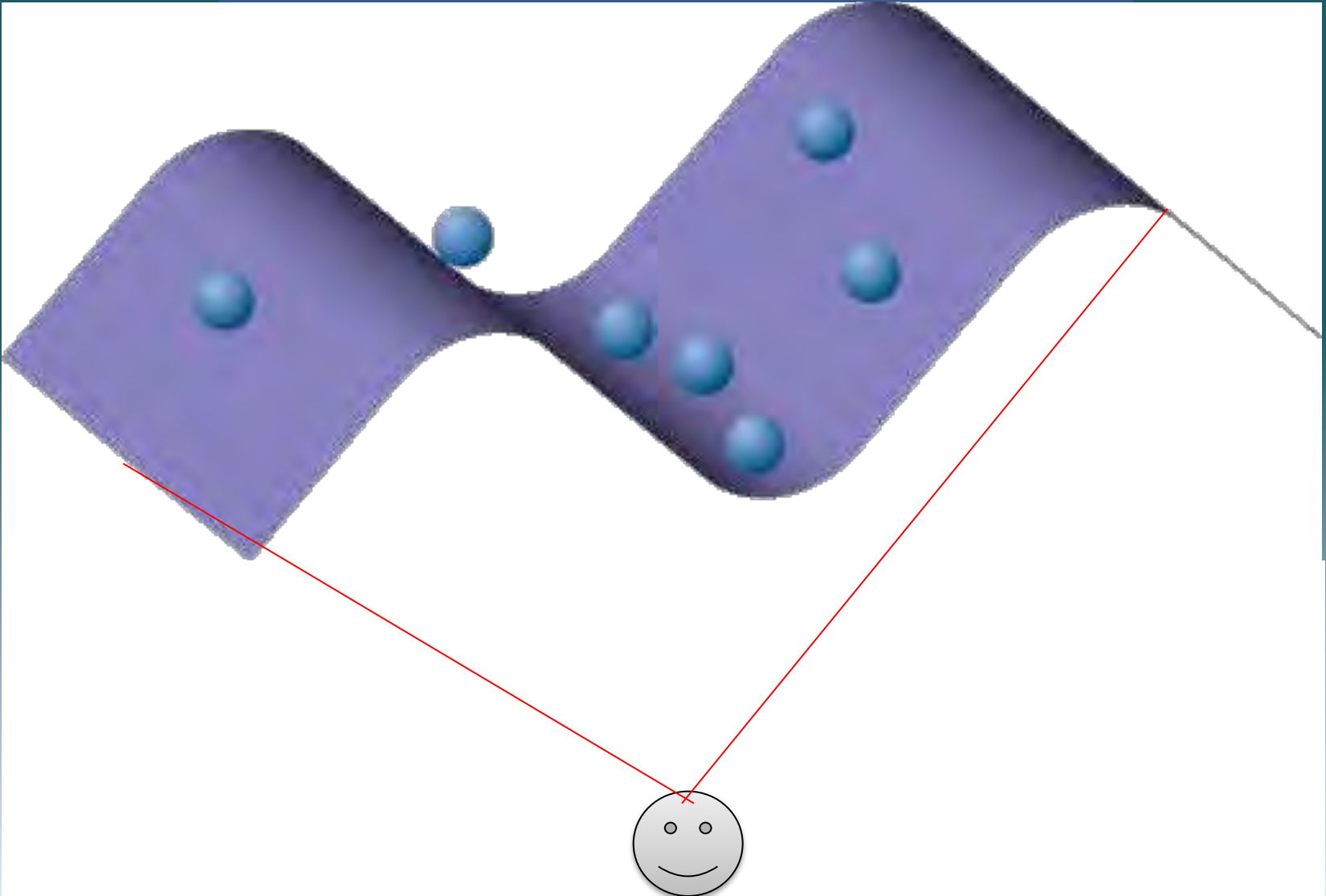
Η ύλη έχει την τάση να πέφτει και συγκεντρώνεται στις κοιλάδες. Σχηματίζονται γαλαξίες (μεγάλη πυκνότητα) εκεί.



Κώδικας χρώματος: σκοτεινές περιοχές → μεγαλύτερη πυκνότητα (έχουν περισσότερη ύλη) ανοιχτόχρωμες περιοχές → μικρότερη πυκνότητα



Χρήσιμη Ιδιότητα της CMB: όταν κοιτάμε μακριά σε ευρείες γωνίες βλέπουμε ζάρες σε τόσο μεγάλες κλίμακες που δεν έχει ακόμα ξεκινήσει η κατάρρευση της ύλης. Βλέπουμε δηλαδή τις αρχέγονες ζάρες.



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

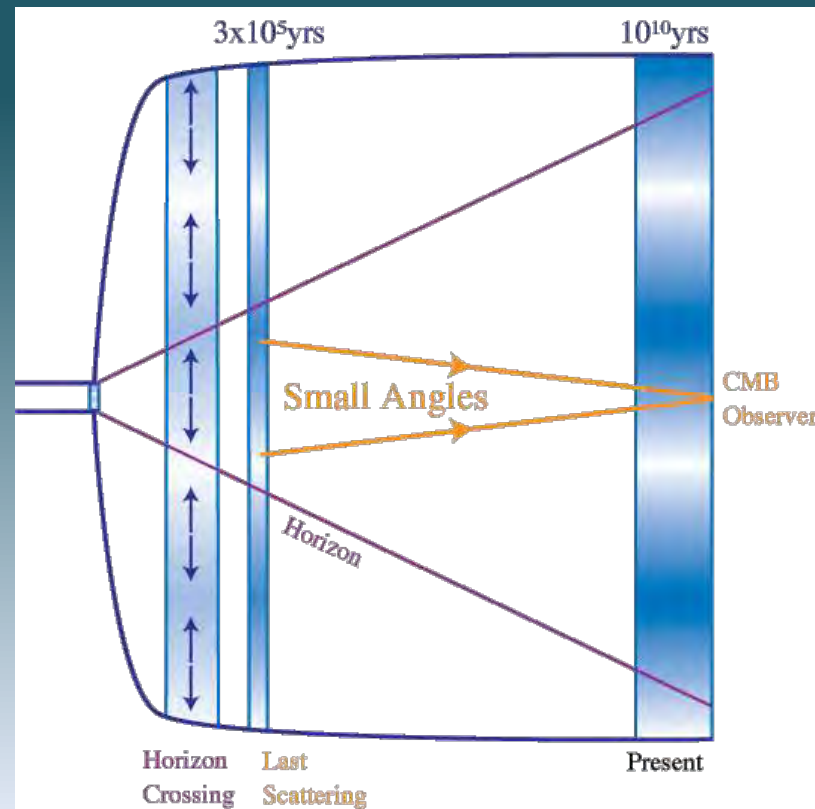


Οι μικρές γωνιακές ανισοτροπίες προέρχονται από ‘ζάρες-ripples’ που είναι μικρότερες από τον ορίζοντα (από όπου τα μικροκυματικά φωτόνια ξεκίνησαν να έρχονται προς εμάς).

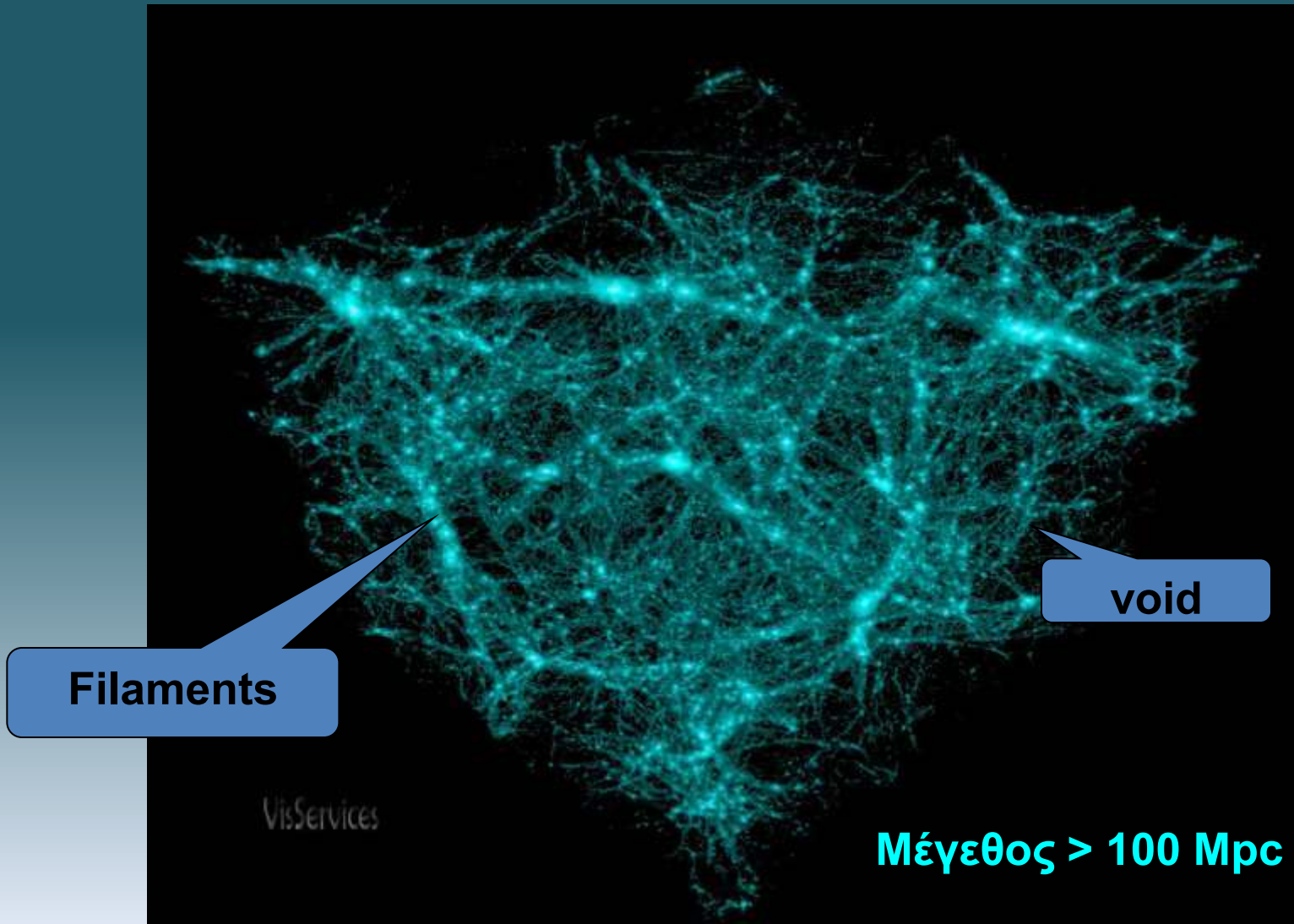
Σε μεγάλη κλίμακα οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας ανακλούν τις ίδιες τις αρχέγονες διακυμάνσεις:

Σε διακυμάνσεις $>$ ορίζοντα ο χρόνος δε φτάνει ώστε να συγκεντρωθεί ύλη στους νηματοειδείς σχηματισμούς $\Rightarrow$ αρχίσει δημιουργία δομών

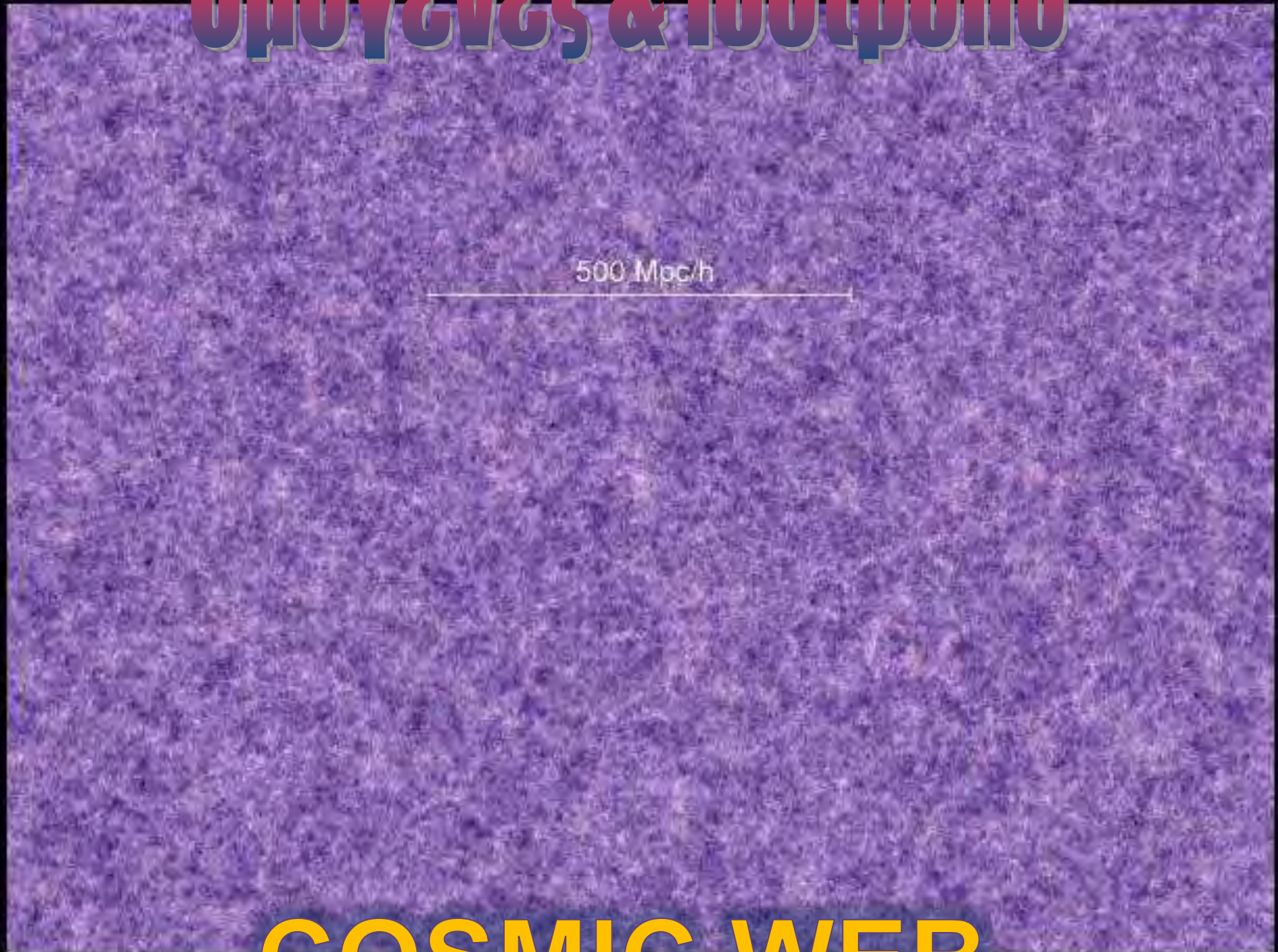
Σε διακυμάνσεις $<$ ορίζοντα, βλέπουμε τη διαδικασία της δημιουργίας των δομών



Σε μεγάλες αποστάσεις, σύμπαν ομογενές
και ισότροπο → ιεραρχικό σύμπαν.
Πώς απέκτησε τωρινή δομή?



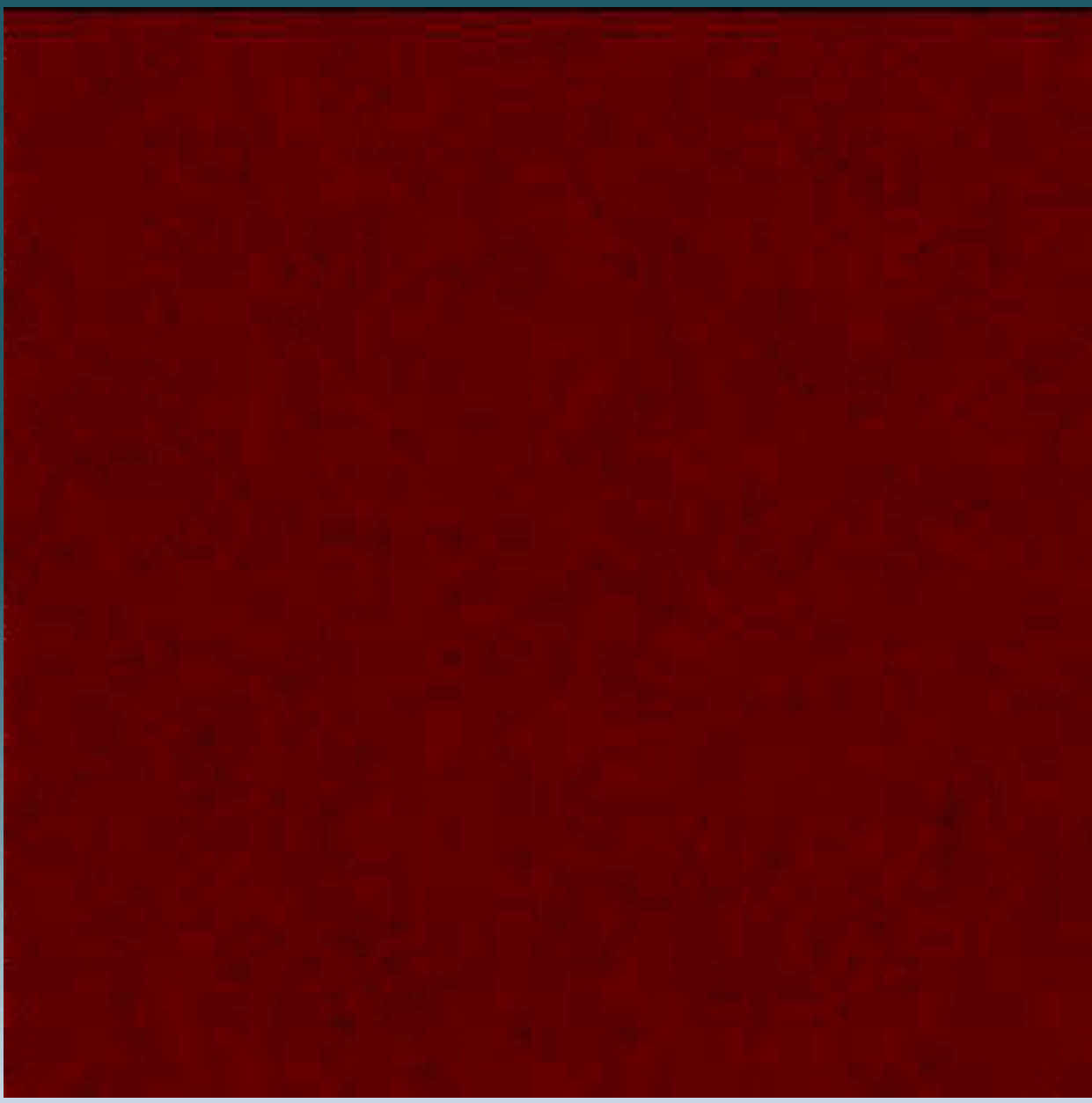
Ομογενές & Ισότροπο



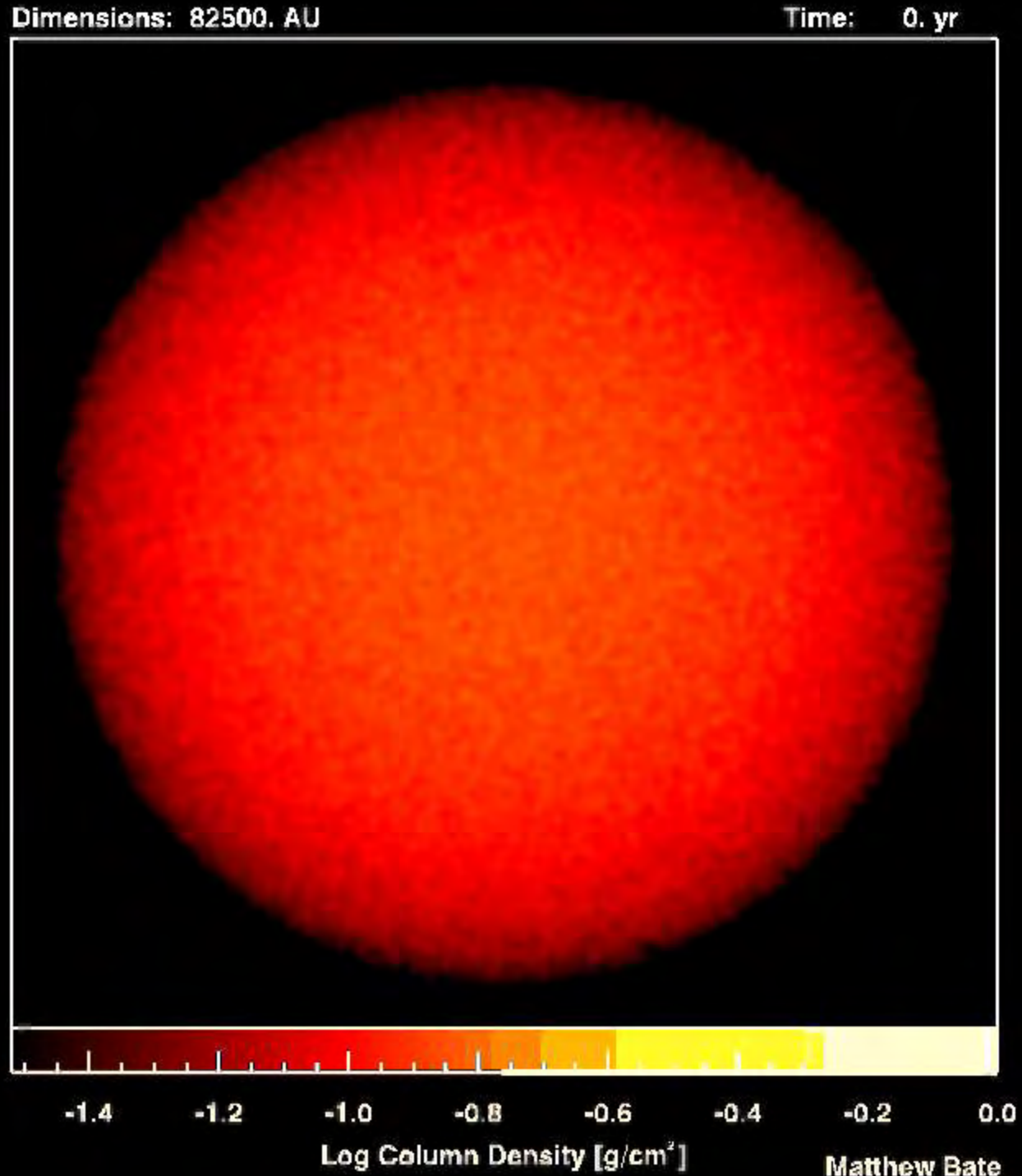
COSMIC WEB

$z = 18$

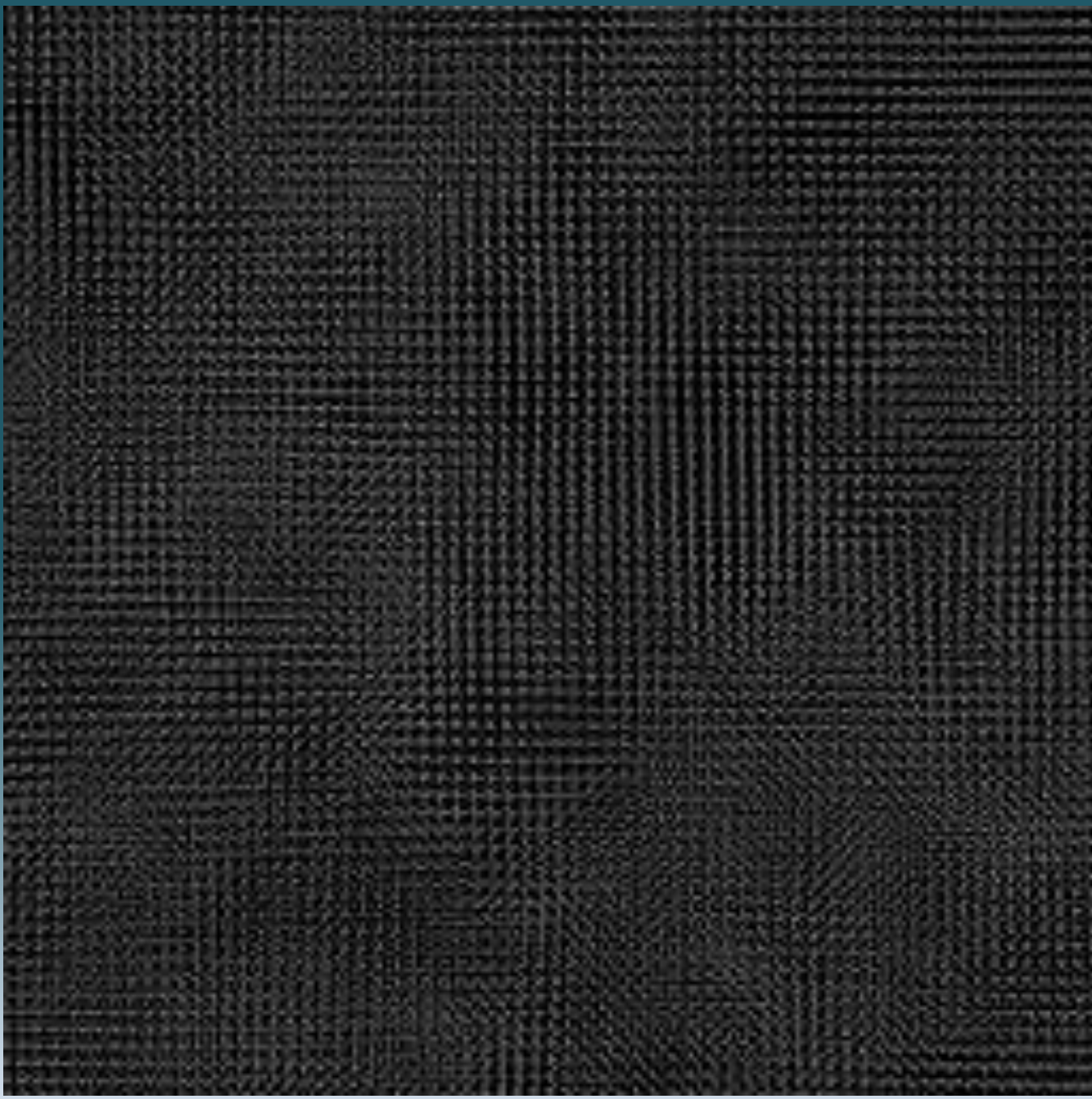
Credit: Mark Whittle, University of Virginia



Credit: Mark Whittle, University of Virginia



Credit: Mark Whittle, University of Virginia



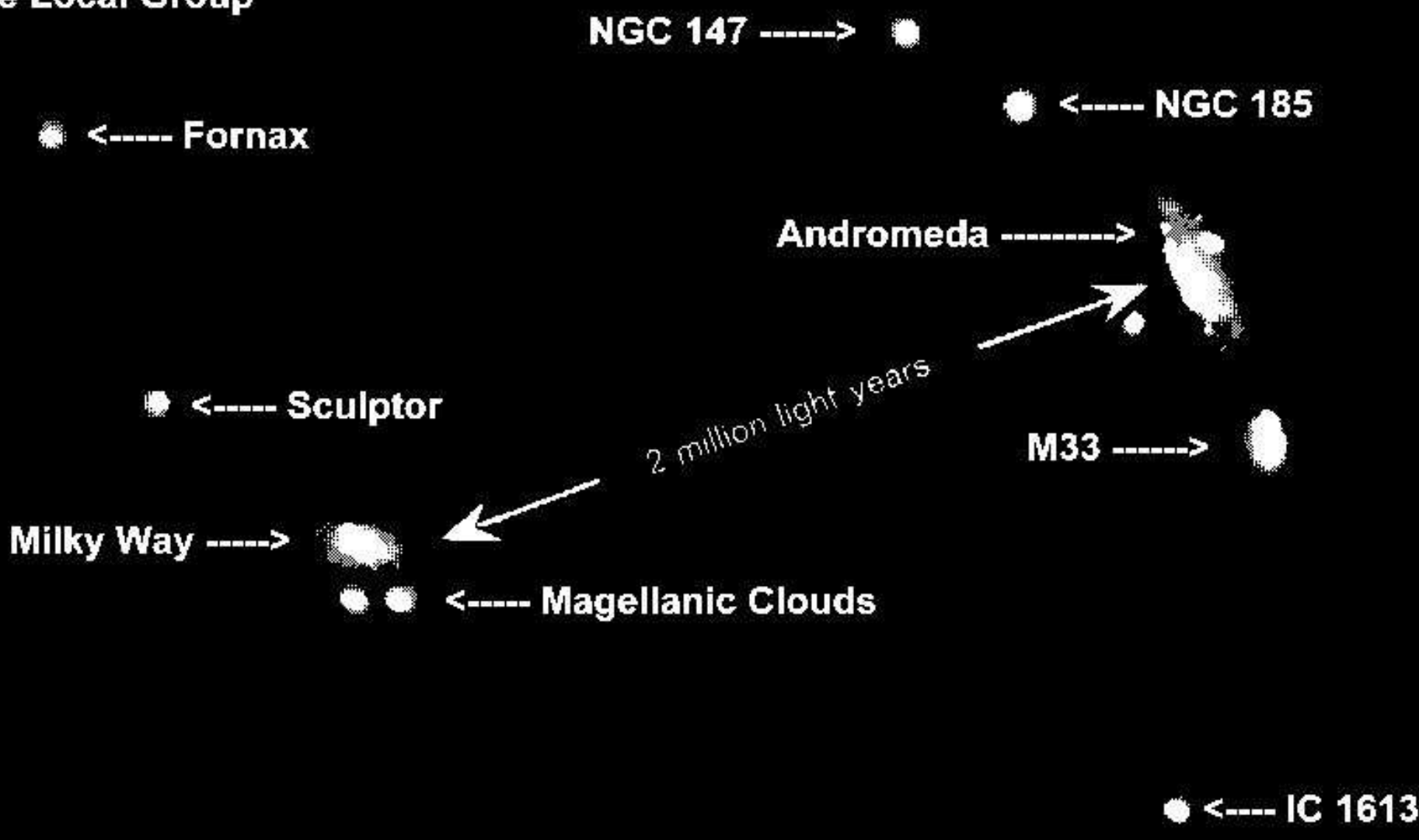
Credit: Mark Whittle, University of Virginia





The Hercules Cluster of Galaxies

The Local Group





Παρατηρήσεις

Υπάρχουν μικρές διακυμάνσεις (ripples) στην παρατηρούμενη θερμοκρασία της CMB από τη μια διεύθυνση στην άλλη, από σημείο σε σημείο
(διακυμάνσεις έχουν λόγο $\sim 1 / 100,000$ ($< 10^{-5}K$))

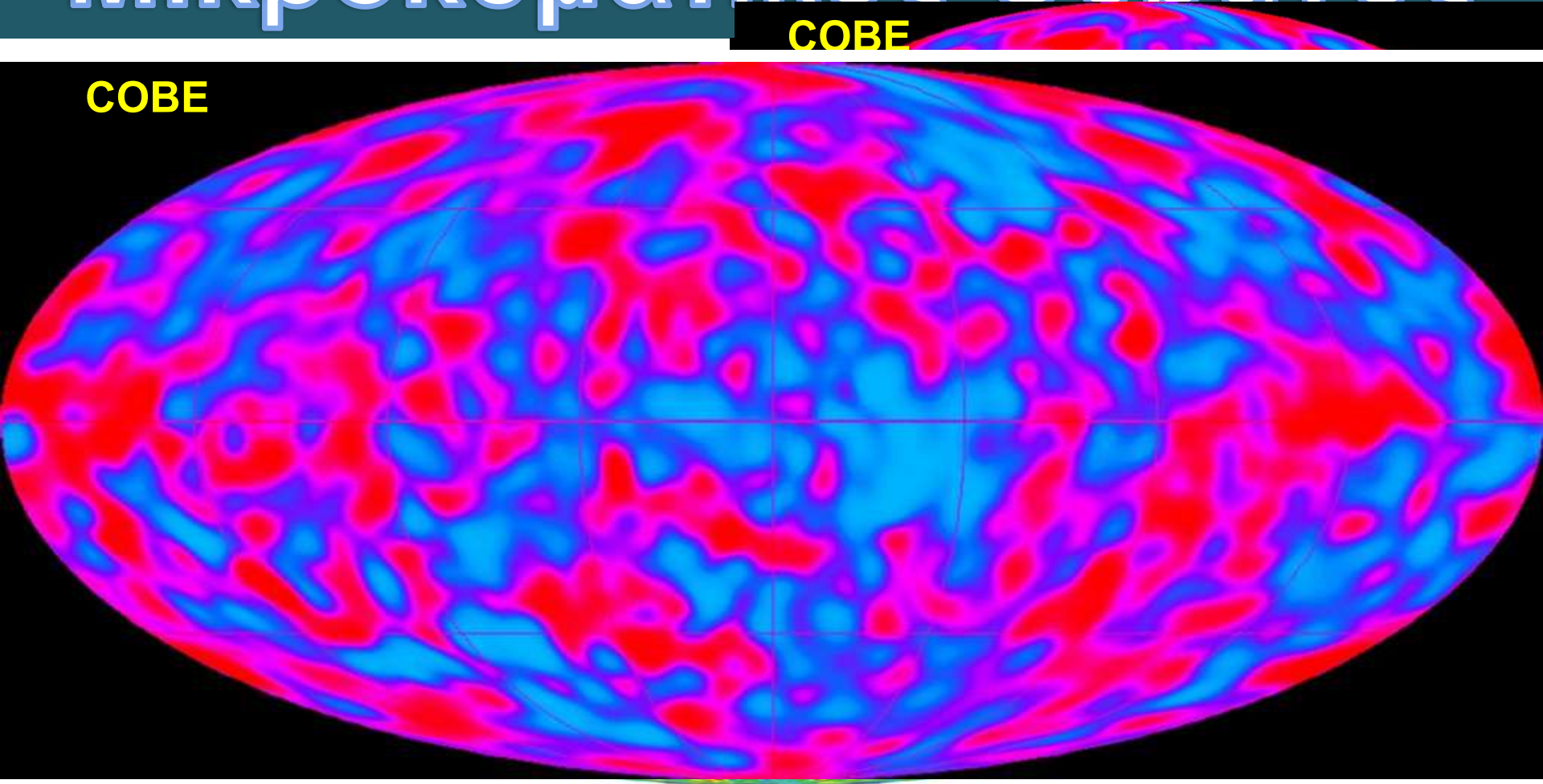
ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΕΣ

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

Μικροκυματικός Ουρανός

COBE

COBE

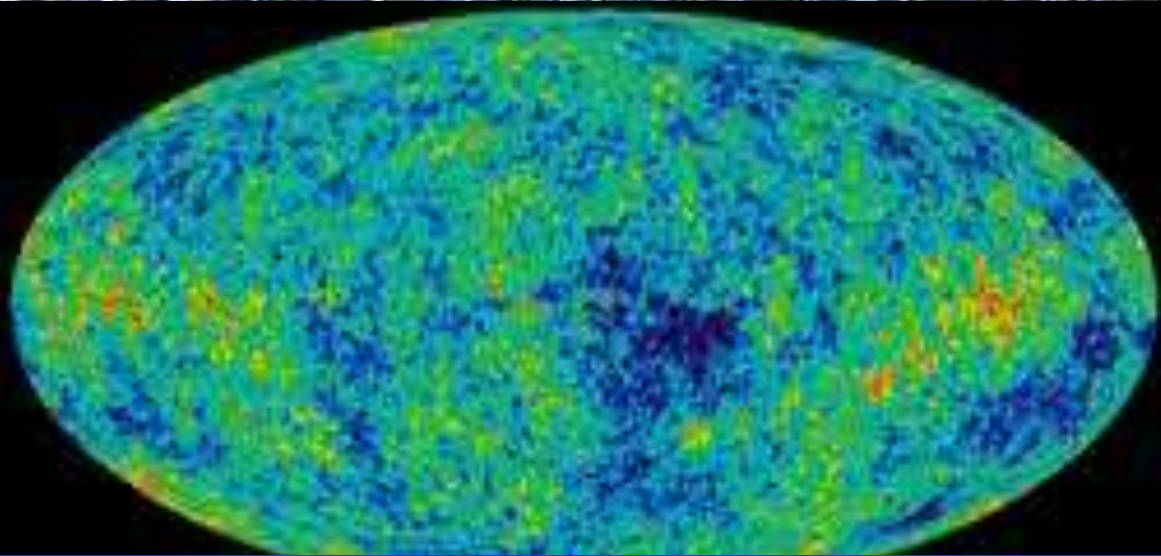


Temperature difference from average (μK)

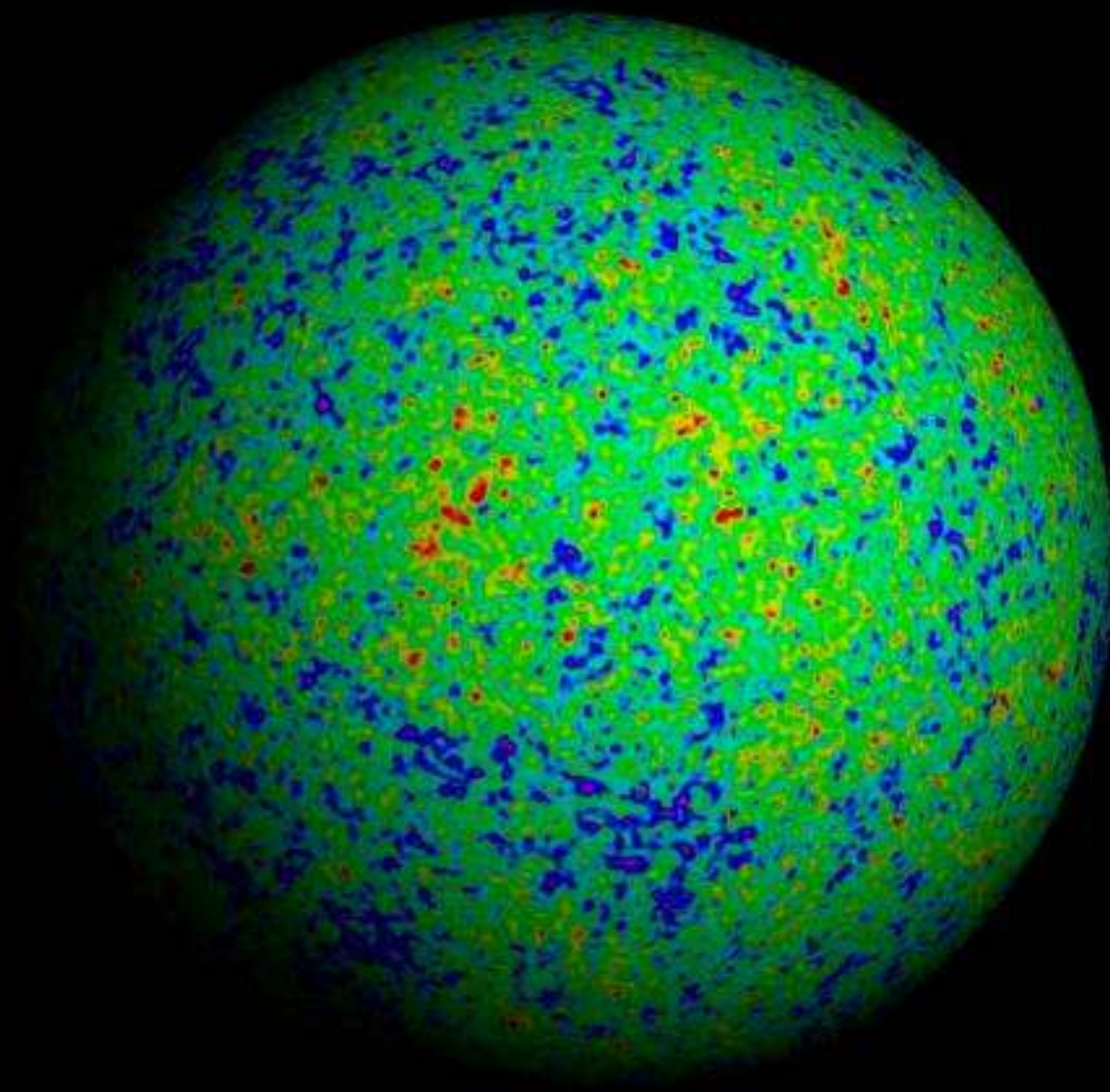
WMAP

Διαφορετικό ύψος κυμάτων: ψηλή-χαμηλή επιφάνεια νερού

Ιστορία του Σύμπαντος

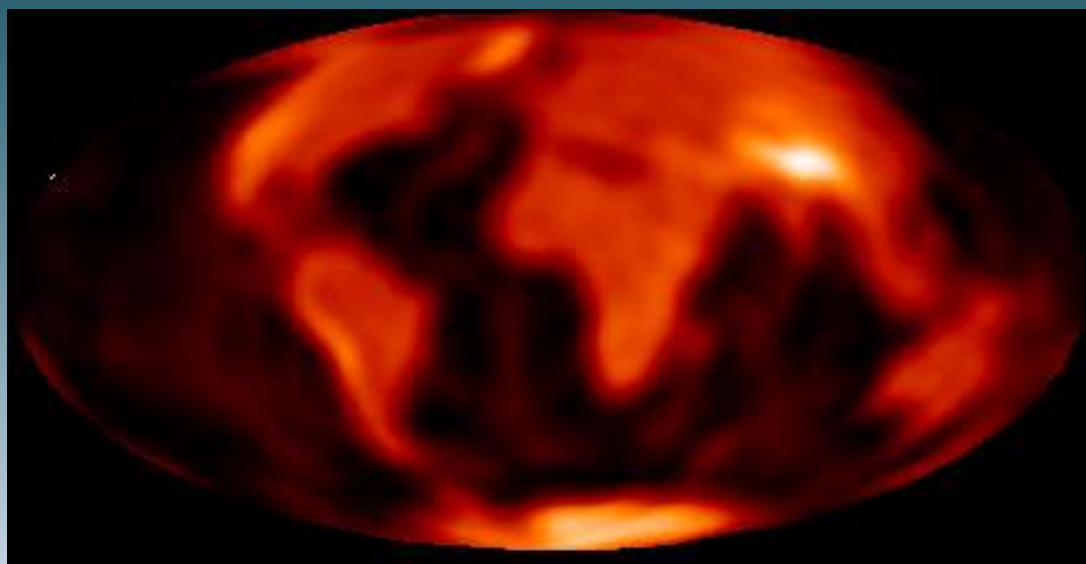
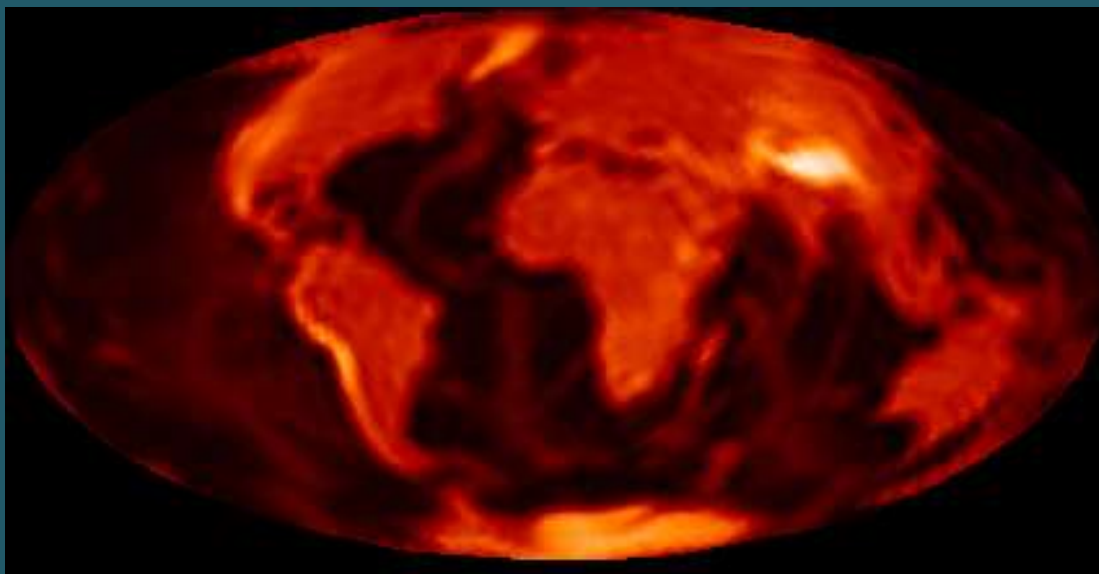


Κόκκινο-μπλε: διαφορετική πυκνότητα αερίου, πίεσης της ακτινοβολίας, διαφορετική θερμοκρασία

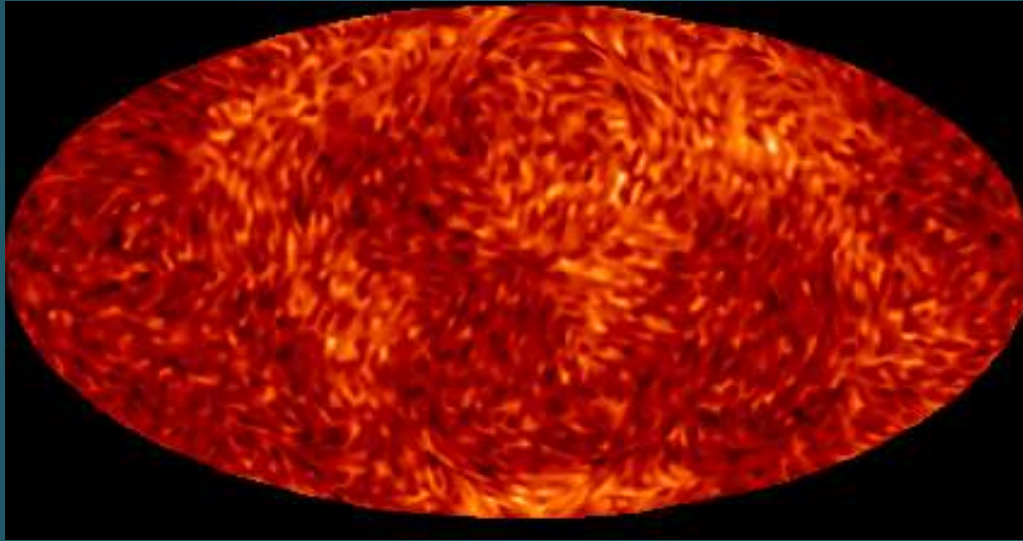


Dark Energy
expansion

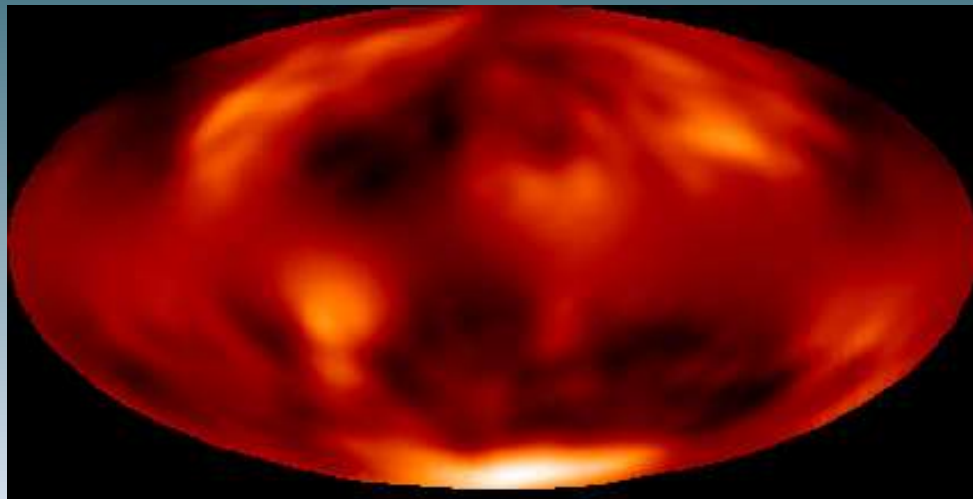




COBE + θόρυβος



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



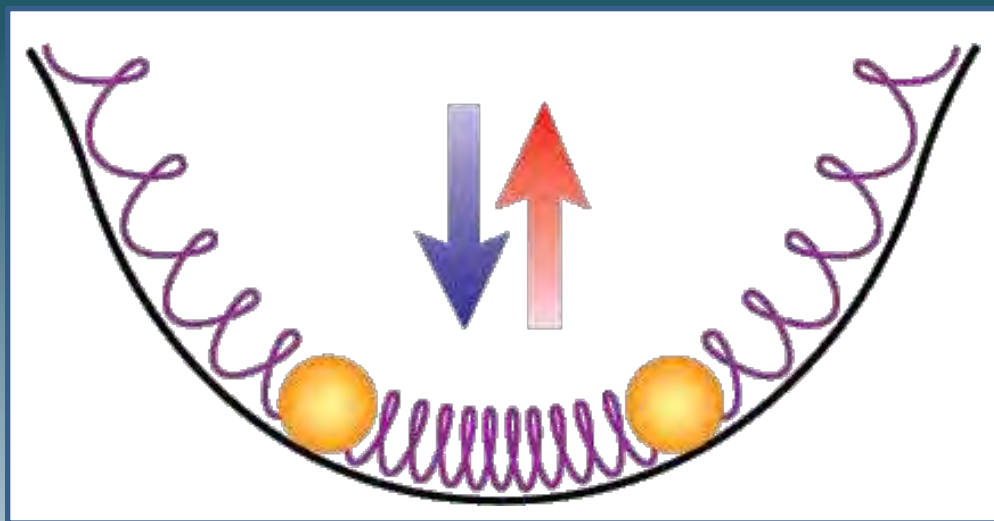
«Βλέπουμε» και Ήχο

Σε μικρή κλίμακα ουσιαστικά βλέπουμε είναι ήχος= κύματα πίεσης μέσα στο ρευστό.

Τα φωτόνια μεταφέρουν και ήχο: η βαρύτητα προσπαθεί να συμπίεσει το αέριο και η πίεση αντισταθεί.

Γιατί καλύτερα βλέπουμε παρά ακούμε?

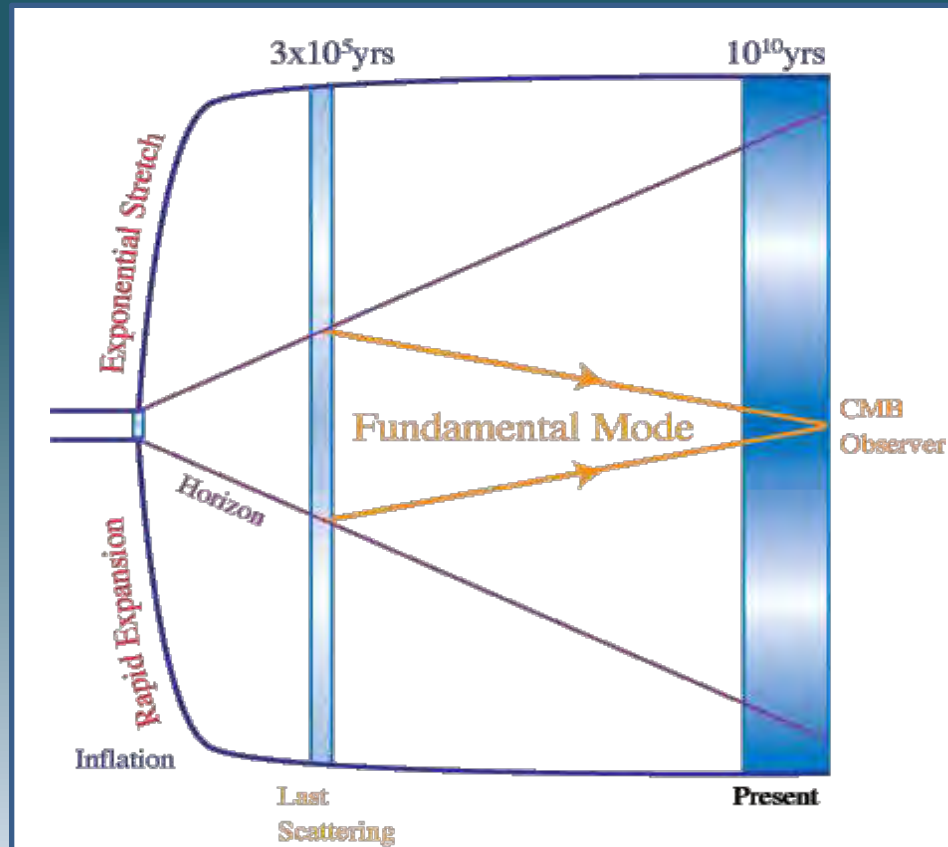
Γιατί όταν συμπιέζεται το αέριο, γίνεται θερμότερο. Οπότε 'βλέπουμε' τα ηχητικά κύματα σαν θερμές και σκοτεινές περιοχές στον ουρανό.



Αποτέλεσμα: Φάσμα ηχητικών κυμάτων → αρχή δημιουργίας, εξέλιξη και πεπρωμένο ουρανίων σωμάτων, Σύμπαντος

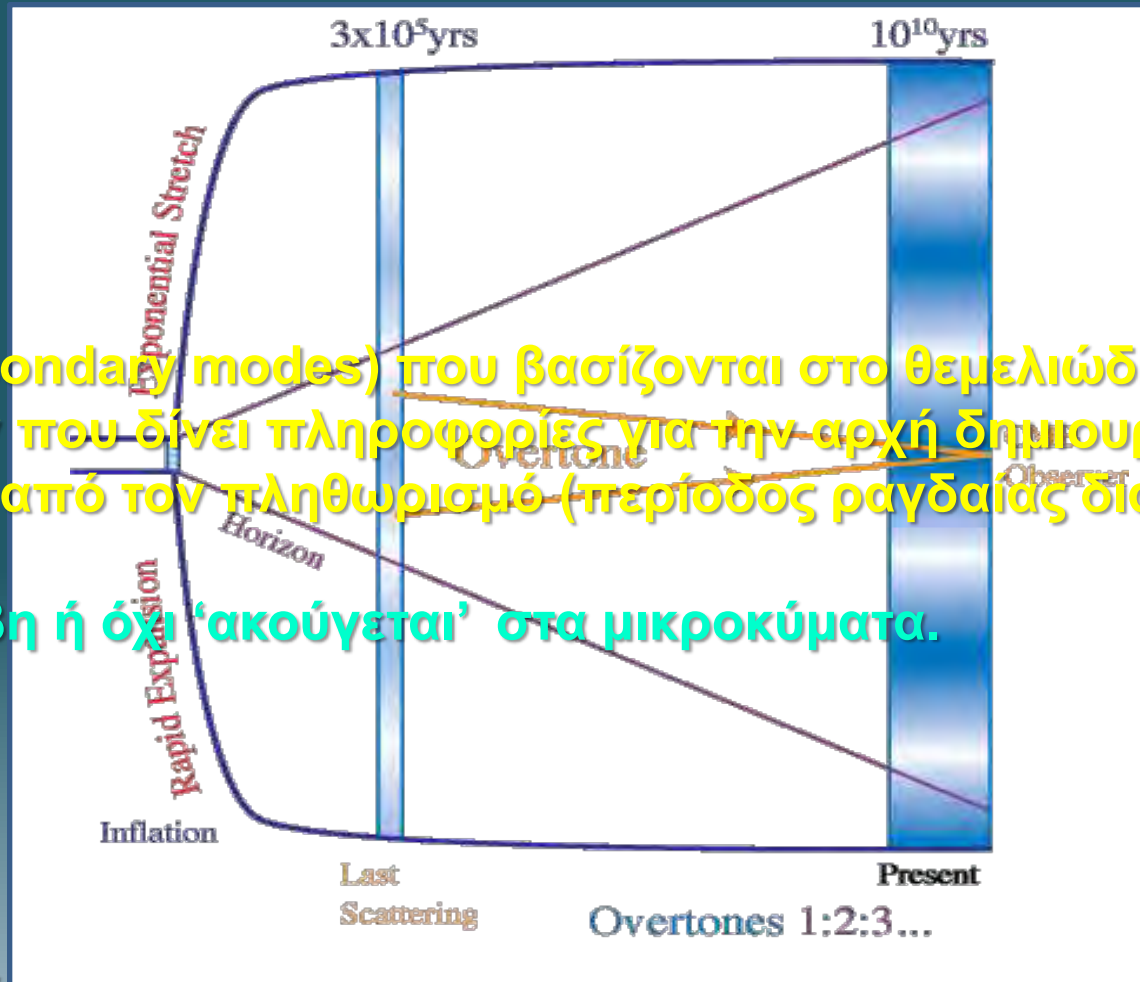
Η μουσική του Πληθωρισμού

Θεμελιώδης συχνότητα (Fundamental harmonic mode) των ηχητικών κυμάτων:
φυσικό μέγεθος, δηλαδή τον ορίζοντα (μέγεθος στην τελευταία σκέδαση)



Overtone (secondary modes) που βασίζονται στο θεμελιώδη, φτιάχνουν μια σειρά ήχων που δίνει πληροφορίες για την αρχή δημιουργίας των διακυμάνσεων από τον πληθωρισμό (περίοδος ραγδαίας διαστολής του σύμπαντος).

Αν αυτό συναίβη ή όχι 'ακούγεται' στα μικροκύματα.

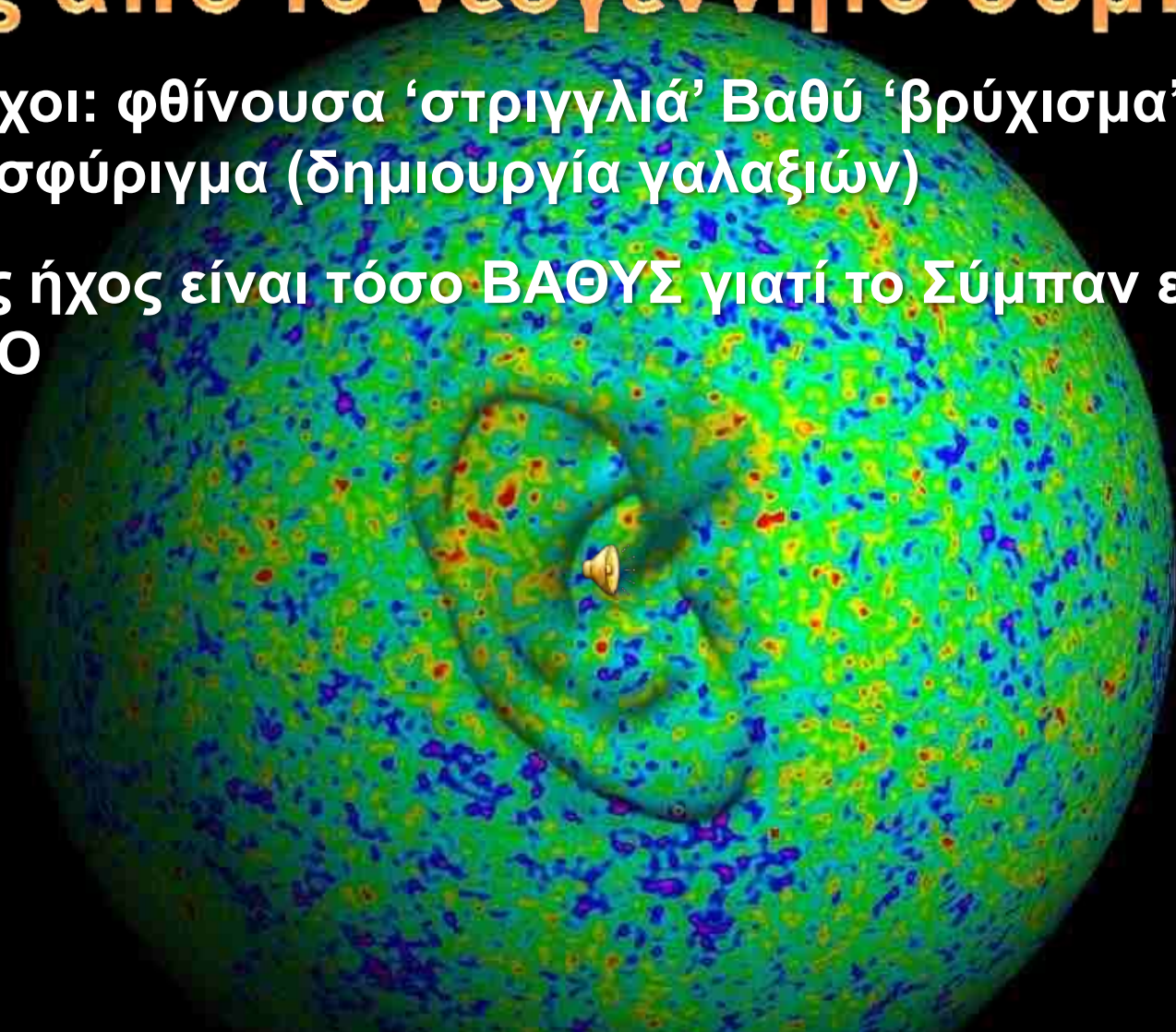


Η καταγραφή των overtones (υπερπλεονάζουσων συχνοτήτων) στο ηχητικό φάσμα των διακυμάνσεων της CMB αποτελεί ισχυρή ένδειξη της ύπαρξης του πληθωρισμού (inflation): Τα overtones αποτελούν μια γνήσια αρμονική σειρά με κλάσμα συχνότητας 1:2:3...

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 συμπίεστηκαν σε 10 sec, παίζονται με σταθερό ήχο και μετατοπίστηκαν 50 οκτάβες



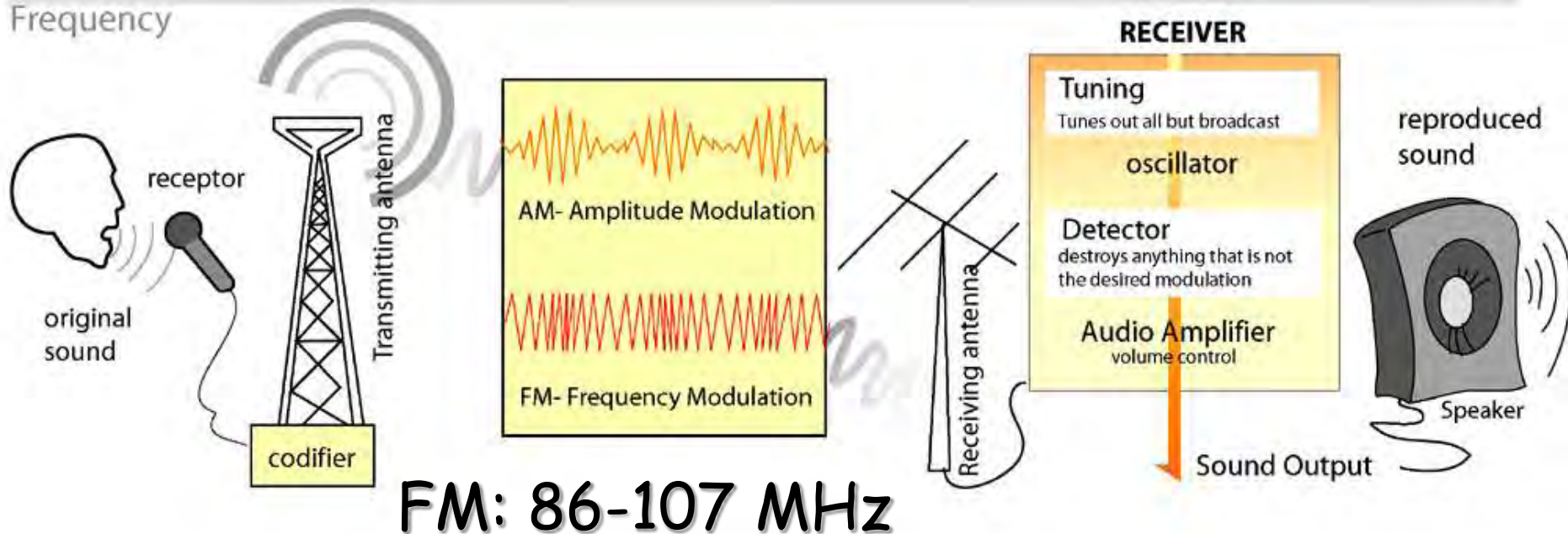
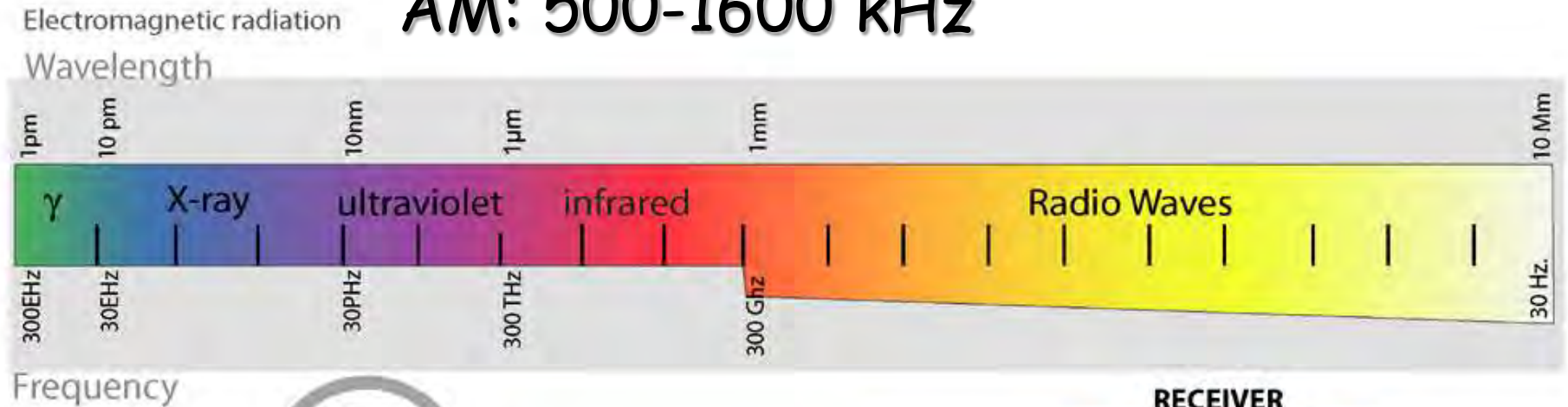
Credit: Mark Whittle, University of Virginia

ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ: ΑΚΟΥΜΕ Η΄ ΒΛΕΠΟΥΜΕ;

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

Τα δαδιοκύματα και ο ήχος είναι τελείως διαφορετικά φαινόμενα

AM: 500-1600 kHz



Βαρύτητα +
υψώματα +
αραιώματα

Ηχητικά
κύματα

Τηλεσκόπια
+



Ήχος

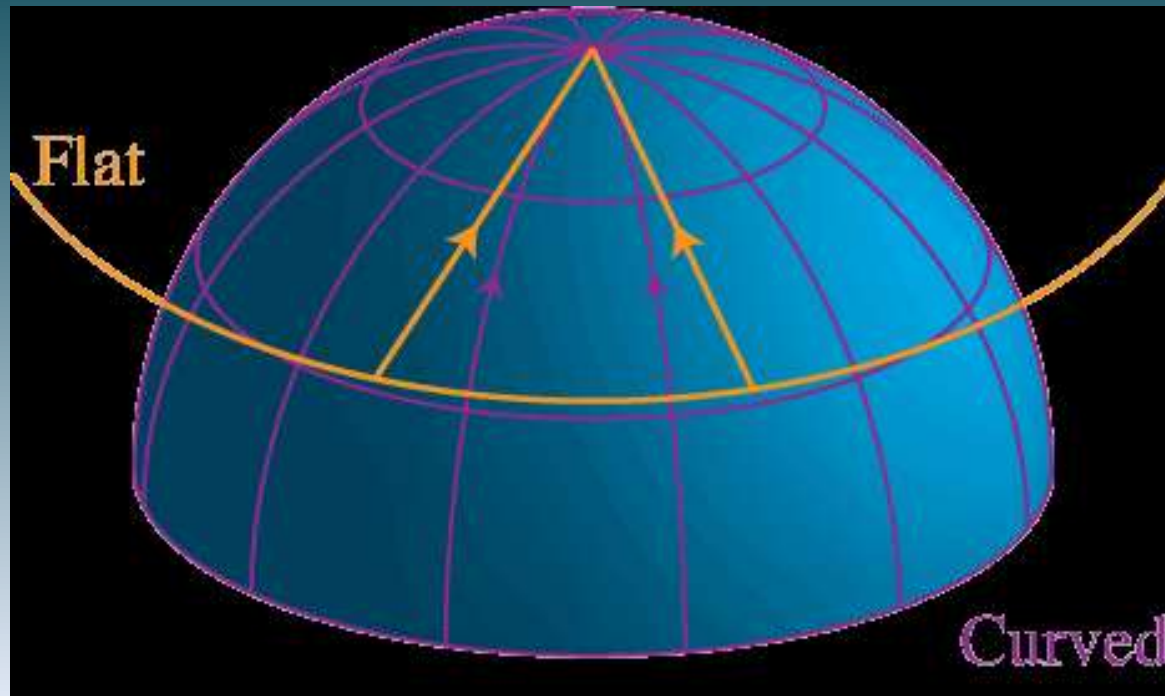
Καμπυλότητα του Διαστημικού χώρου

Einstein: Η βαρύτητα είναι καμπύλωση του χωρό-χρονου

Η καμπύλωση δημιουργείται από την ύλη

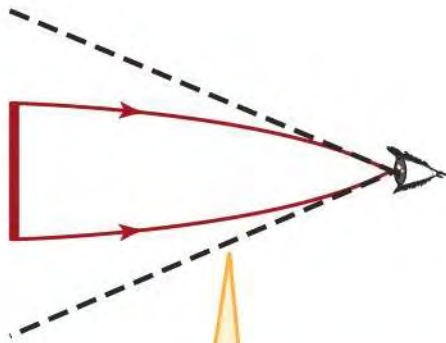
Δε γνωρίζουμε αν το Σύμπαν μας είναι καμπύλο στο χώρο. Τα φωτόνια στα μικροκύματα μπορούν να διανύσουν τις τεράστιες αποστάσεις στο σύμπαν:

Πρακτικά η καμπύλωση μετράται από το μέγεθος των κηλίδων στους χάρτες CMB. Όσο μεγαλύτερη είναι η καμπυλότητα τόσο μικρότερο είναι το φυσικό μέγεθος των spots.



Η Γεωμετρία του Σύμπαντος





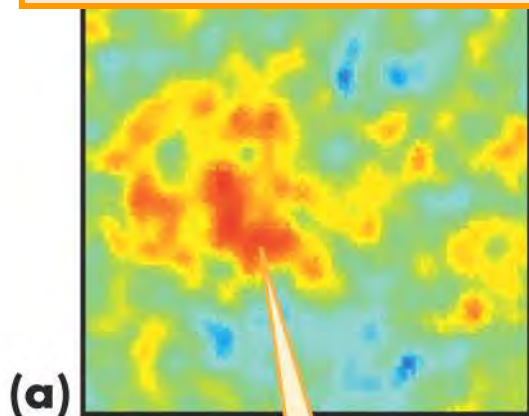
Αν το σύμπαν είναι κλειστό, οι ακτίνες φωτός από δύο αντίθετες πλευρές μιας θερμής κηλίδας καμπυλώνονται η μια προς την άλλη...



Αν το σύμπαν είναι επίπεδο, οι ακτίνες φωτός από δύο αντίθετες πλευρές μιας θερμής κηλίδας δεν καμπυλώνονται καθόλου...

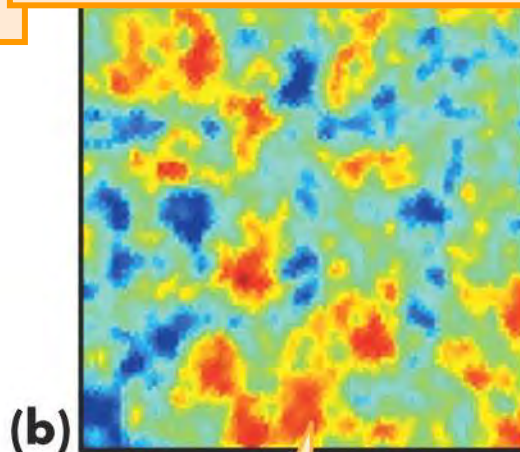


Αν το σύμπαν είναι ανοικτό, οι ακτίνες φωτός από δύο αντίθετες πλευρές μιας θερμής κηλίδας καμπυλώνονται απομακρυνόμενες η μια προς την άλλη...



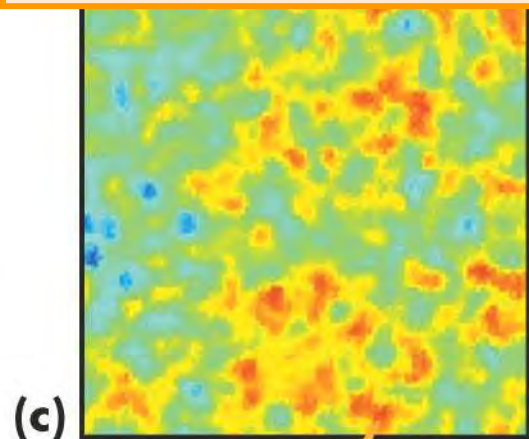
(a)

Μ'αποτέλεσμα η θερμή κηλίδα φαίνεται πιο μεγάλη από ότι πραγματικά είναι.



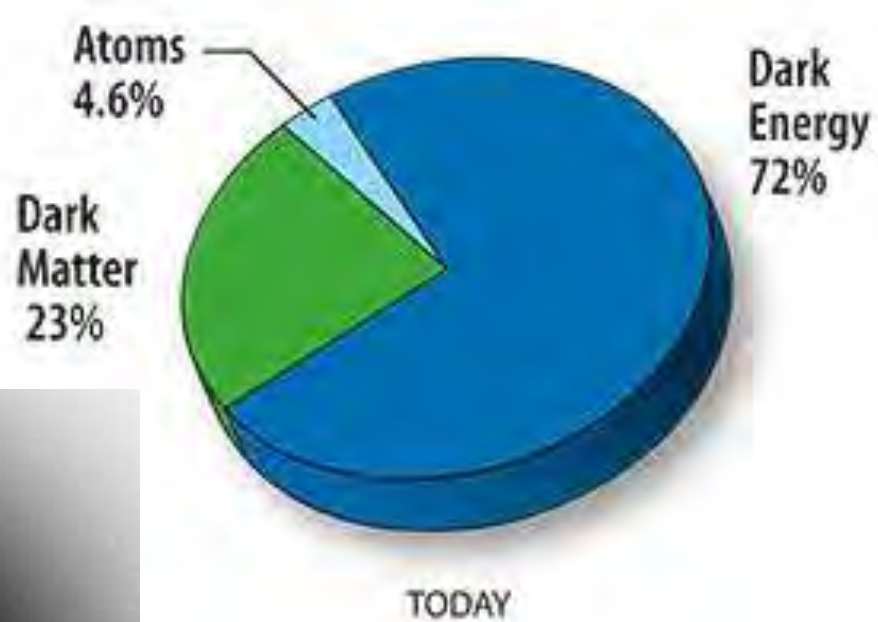
(b)

... οπότε η θερμή κηλίδα εμφανίζεται σ' εμάς όπως πραγματικά είναι.



(c)

... και σαν αποτέλεσμα η θερμή κηλίδα μας εμφανίζεται μικρότερη από ότι πραγματικά είναι.



parameter	WMAP value	what is it?
Ω_{total}	1.02 ± 0.02	total density
Ω_{Lambda}	0.73 ± 0.04	dark energy density
Ω_{matter}	0.27 ± 0.04	matter density
Ω_{baryon}	0.044 ± 0.004	baryon density
H_0	$71 \pm 4 \text{ km/s/Mpc}$	Hubble constant
t_0	$13.7 \pm 0.2 \text{ Gyr (billion years)}$	age of the universe

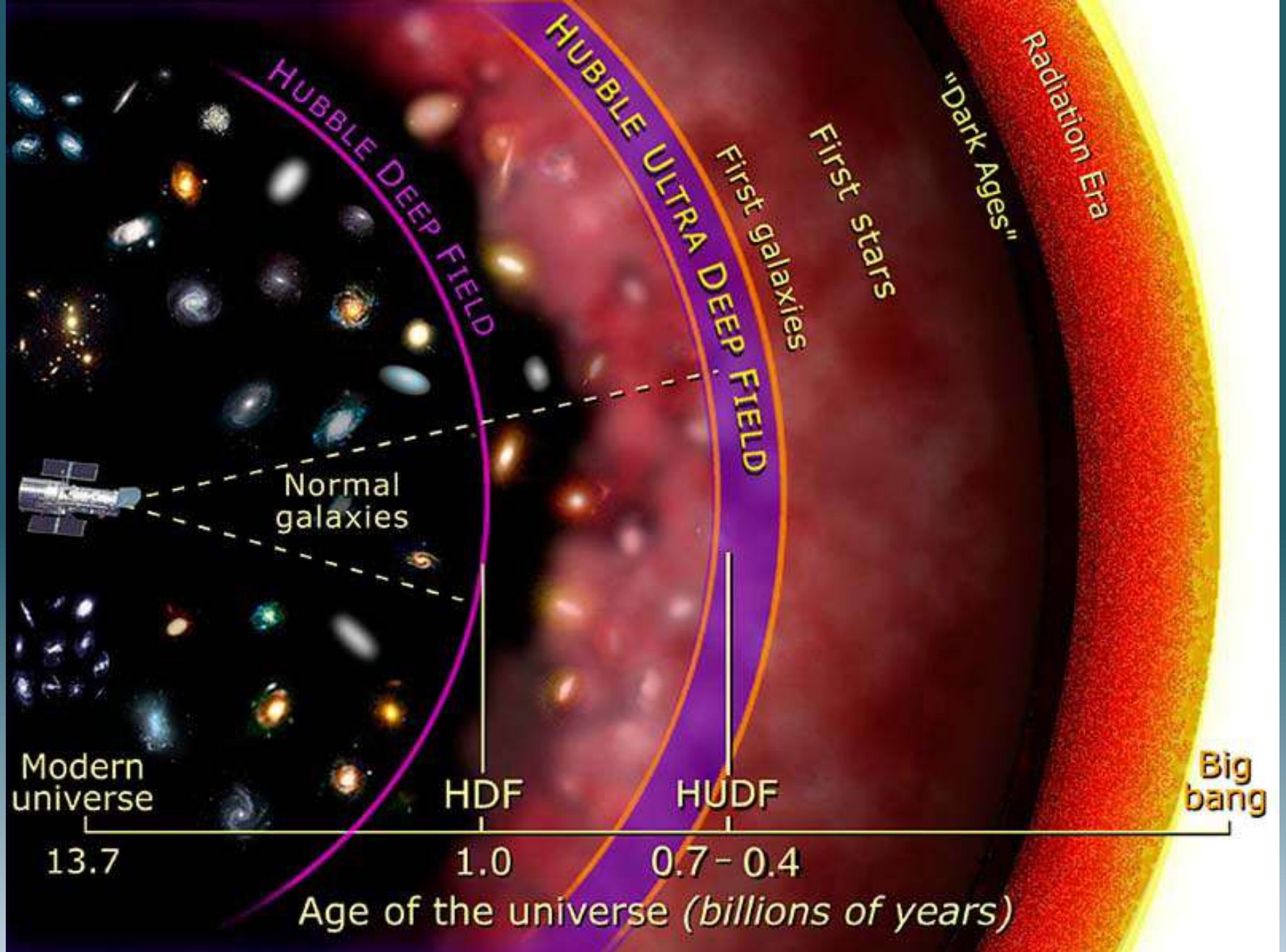


Image Credits: UDF - NASA/ESA/S. Beckwith(STScI) and The HUDF Team.
For UDF Location and Age of the Universe graphics: NASA

Οι Ανακαλύψεις μέχρι τώρα

Σε redshift $z \cong 1000$ το σύμπαν ψύχθηκε αρκετά ώστε να δημιουργηθεί **H**. Με την πυκνότητα των ελεύθερων ηλεκτρονίων να πέφτει πολύ γρήγορα, οι αλληλεπιδράσεις φωτονίων-ύλης σταμάτησαν.

Αυτό που βλέπουμε μέσω CMB είναι μια στιγμιαία φωτογραφία (snapshot) του σύμπαντος σε redshift 1000 (~ 100,000 χρ. Μετά BB). Οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία στον ουρανό είναι οι πρόδρομοι της δομής μεγάλης κλίμακας που βλέπουμε γύρω μας στο παρών.

Αυτές οι μικρές διακυμάνσεις αναπτύσσονται μέσω βαρυτικών ασταθειών από $1 / 100,000$ σε μεγάλης συγκέντρωσης δομές (cosmic web) σήμερα. Δηλαδή η T είναι ομοιόμορφη σε ποσοστό $> 1 / 100,000$.

Οι μικρές διακυμάνσεις σε ομοιόμορφη πυκνότητα του πρώιμου σύμπαντος (δημιουργία γαλαξιών) αφήνουν ίχνος στη CMB, δηλ. Μικρές διακυμάνσεις της T από σημείο σε σημείο



- Τι προκάλεσε τις διακυμάνσεις?
ΟΧΙ η βαρύτητα---- δύο Ιδέες: 1) Inflation,
2) τοπολογικές ανωμαλίες
- Νέα ηλικία του Σύμπαντος με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια $(13.73 \pm 0.12) \times 10^9$ χρόνων
- WMAP οριοθετεί τη γεωμετρία του Σύμπαντος: 1% Ευκλείδια Επίπεδο
- CMB έγινε 'πρωτεύον βαρυόμετρο του σύμπαντος: WMAP καθόρισε με ακρίβεια ότι: τα συνηθισμένα άτομα (βαρυόνια) συνθέτουν μόνο το $4.6\% \pm 0.1\%$ του σύμπαντος, η σκοτεινή ύλη (δεν είναι φτιαγμένη από άτομα) το $23.3\% \pm 1.3\%$ και η σκοτεινή ενέργεια το $72.1\% \pm 1.5\%$

Το Σύμπαν πέρασε στην εποχή του επαναιονισμού νωρίτερα από ότι πιστευόταν.

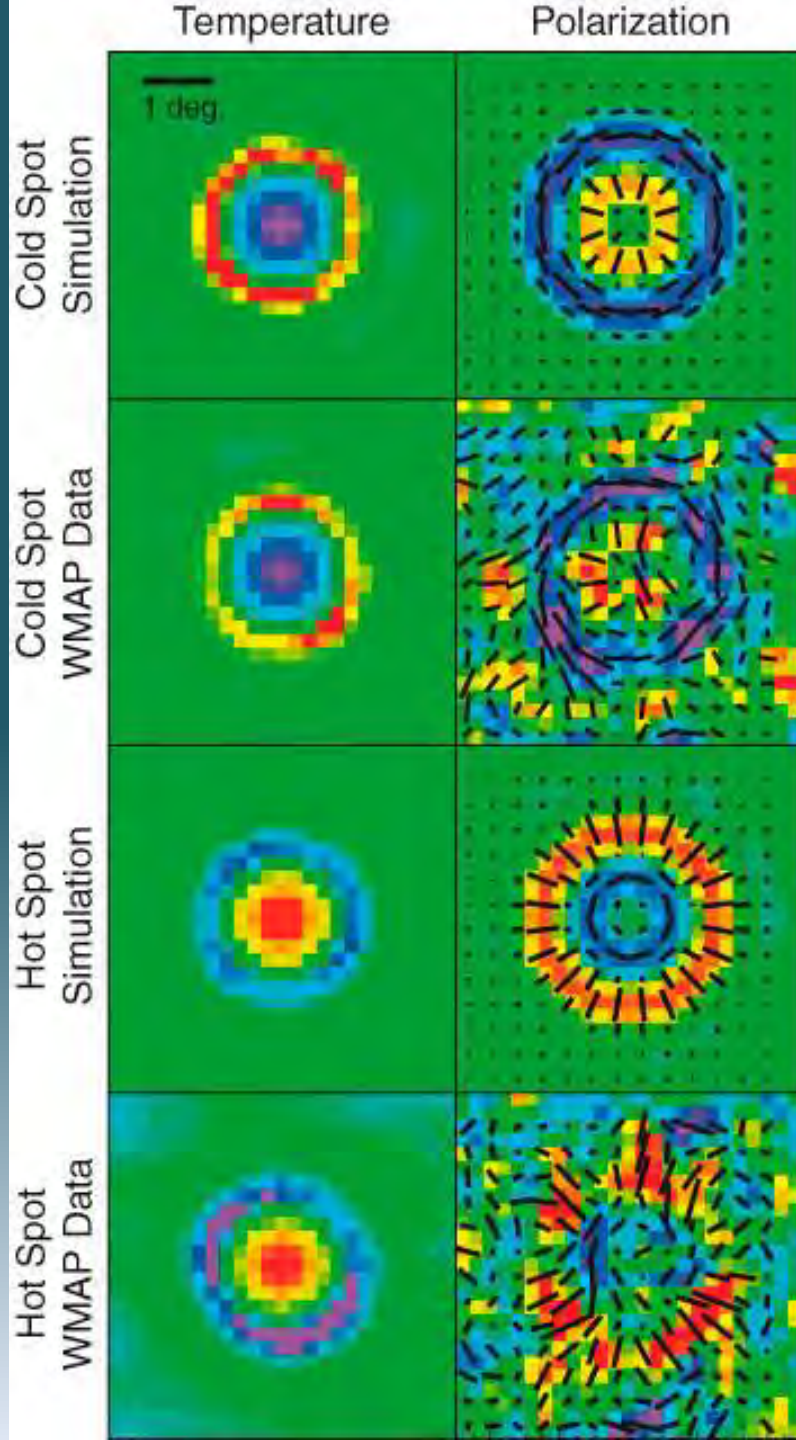
Μελέτη σε βάθος της δομής μεγάλης κλίμακας και της αρχής δημιουργίας του Σύμπαντος: η μέτρηση της πόλωσης της CMB δείχνει το εύρος των διακυμάνσεων της πυκνότητας στο σύμπαν που δημιουργεί τους πρώτους γαλαξίες.

Η 1^η άμεση ανίχνευση του προ-αστρικού στοιχείου ηλίου He, σημαντικό για την ισχύ της θεωρίας του BB.

Το WMAP επιβεβαιώνει κατά 50% το standard μοντέλο της κοσμολογίας σε σχέση με παλαιότερα αποτελέσματα

Ανιχνεύθηκε η ουσιαστική ύπαρξη του πληθωρισμού

Μπήκαν νέα όρια στον αριθμό των ειδών-νετρίνων στο πρώιμο σύμπαν



Ανιχνεύθηκαν με μεγάλη ακρίβεια οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας που προκαλούνται από θερμό αέριο σε σμήνη γαλαξιών

Παρατηρήθηκε συγκεκριμένη συμπεριφορά της πόλωσης γύρω από θερμές και ψυχρές κηλίδες

Credit: NASA/WMAP Science Team

Η γνώση είναι αλυσίδα. Οι Penzias & Wilson πήραν το NOBEL αλλά το άξιζαν όλοι αφού όλοι συνέβαλαν στη γνώση της CMB. Ακόμα και ο Gamow δεν είναι ο μόνος που πρότεινε το BB. Υπήρχαν και οι R. Alpher και R. Herman.

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

Επειδή δεν βλέπουμε κάτι, δε σημαίνει ότι δεν υπάρχει, είτε αυτό έχει εφαρμογή στην επιστήμη είτε στη ζωή μας

Σας Ευχαριστώ