



**Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ HUBBLE  
ΚΑΙ Η ΔΙΑΣΤΟΛΗ  
ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ.  
Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ  
ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ**





Κατά την διάρκεια των δεκαετιών  
του 1920 και 1930

ο αμερικανός αστρονόμος Slipher με τη βοήθεια  
του φαινομένου Doppler είχε μετρήσει τις  
ακτινικές ταχύτητες ως προς τη Γη  
περισσότερων από 40 γαλαξιών.

Ανακαλύφθηκε ότι όλοι οι μακρυνοί γαλαξίες  
(δηλαδή εκτός της Τοπικής Ομάδας)  
απομακρύνονται από τον δικό μας  
(παρουσίαζαν δηλαδή  
μετατόπιση προς το ερυθρό).

Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε  
**φυγή των γαλαξιών.**

Ο Hubble μέτρησε τις αποστάσεις  
από τη Γη αρκετών από τους παραπάνω  
γαλαξίες και τις συσχέτισε  
με τις ακτινικές τους ταχύτητες.

Ανακάλυψε ότι αυτά τα δύο μεγέθη  
είναι ανάλογα.

Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση  
ενός γαλαξία από τον δικό μας,  
τόσο γρηγορότερα  
απομακρύνεται από αυτόν.

Η σχέση που προκύπτει είναι γνωστή ως  
**νόμος του Hubble:**

$$v = H \cdot d$$

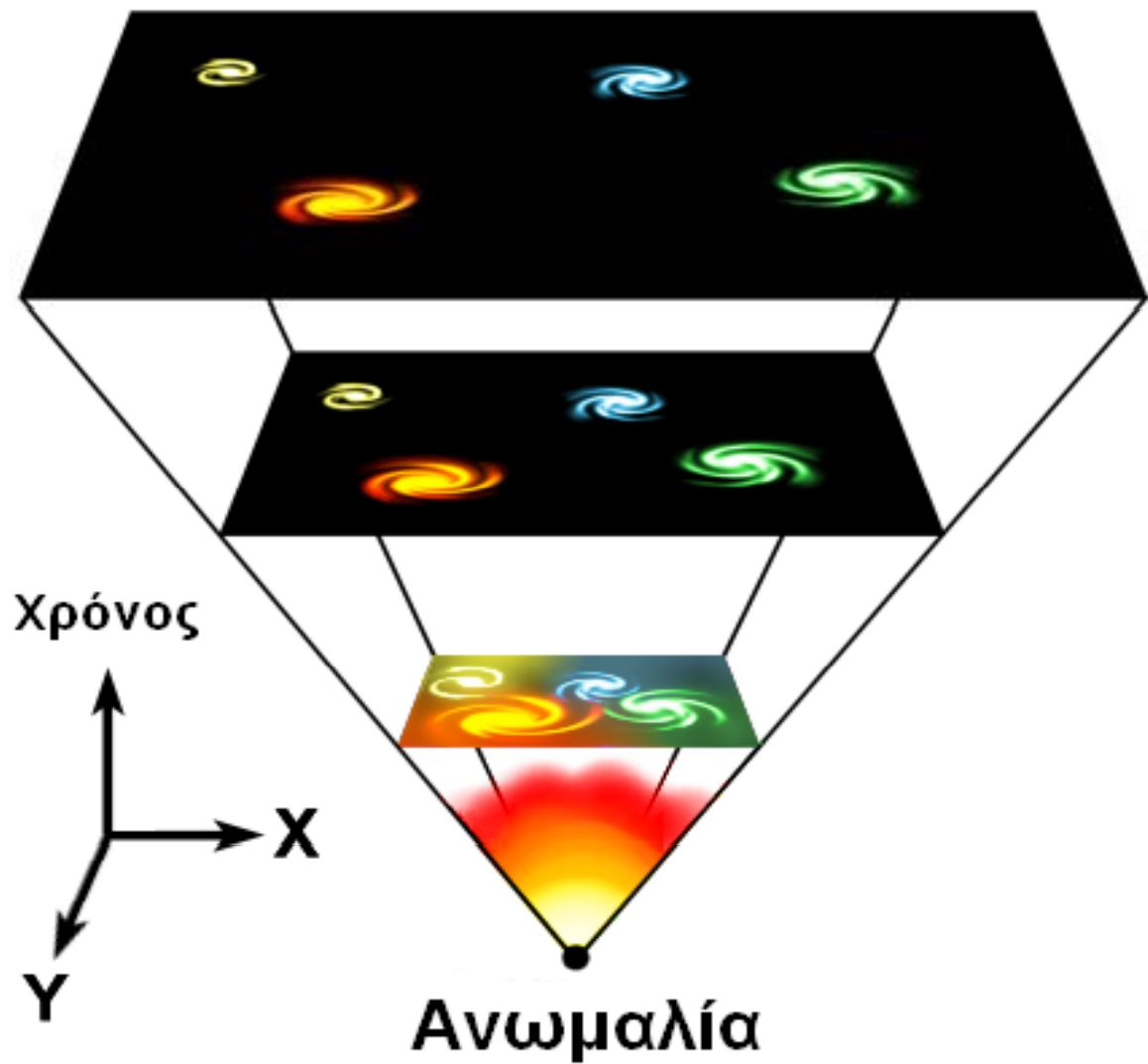
Η παραπάνω έρευνα αποτέλεσε το πρώτο  
αποδεικτικό στοιχείο της  
διαστολής του σύμπαντος.

Το διαστελλόμενο Σύμπαν συμφωνεί  
με τη θεωρία της μεγάλης έκρηξης  
και προβλέπεται από τη  
Γενική Θεωρία της Σχετικότητας.

Πώς ερμηνεύεται ο νόμος του Hubble και ποια είναι η σημασία του;

Με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι ο Γαλαξίας έχει μια ιδιαίτερη θέση στο Σύμπαν, σαν να βρίσκεται στο κέντρο του και όλοι οι άλλοι γαλαξίες να απομακρύνονται ακτινικά από αυτόν.

Ωστόσο, η ερμηνεία αυτή έρχεται σε αντίθεση με την αρχή της ομοιογένειας του Σύμπαντος, σύμφωνα με την οποία όλες οι θέσεις παρατήρησης στο χώρο είναι ισοδύναμες.





Αν ο νόμος του Hubble είναι συμβιβαστός  
με την αρχή της ομοιογένειας,  
τότε πρέπει να ισχύει και για έναν  
παρατηρητή που βρίσκεται σε έναν  
οποιοδήποτε άλλο γαλαξία.

Ο παρατηρητής αυτός πρέπει να βλέπει  
όλους τους άλλους γαλαξίες να  
απομακρύνονται από αυτόν με τον ίδιο  
τρόπο που εμείς τους βλέπουμε να  
απομακρύνονται από το δικό μας.

Πώς όμως αυτό είναι δυνατό;

Για να το καταλάβουμε,  
ας φανταστούμε ένα  
σφαιρικό μπαλόνι,  
στην επιφάνεια του οποίου έχουμε  
σχεδιάσει με ένα στυλό στίγματα.  
Αν αρχίσουμε να το φουσκώνουμε,  
παρατηρούμε ότι τα στίγματα  
απομακρύνονται μεταξύ τους.

Από οποιοδήποτε στίγμα και αν  
κάνουμε την παρατήρηση,  
βλέπουμε ότι όλα τα υπόλοιπα  
απομακρύνονται από αυτό.

Επιπλέον, όσο πιο απομακρυσμένα  
μεταξύ τους είναι δύο στίγματα  
τόσο περισσότερο αυξάνεται η  
απόσταση που τα χωρίζει καθώς  
φουσκώνουμε το μπαλόνι.

Στο σημείο αυτό δεν είναι δύσκολο  
να προβούμε σε μια πολύ  
σημαντική διαπίστωση:

**Τα στίγματα δεν κινούνται πάνω  
στην επιφάνεια του μπαλονιού.**

**Η σχετική τους απομάκρυνση  
οφείλεται στη διαστολή  
της ίδιας της επιφάνειας πάνω  
στην οποία βρίσκονται.**



Η "ερυθρή μετατόπιση" στο φως που μας έρχεται  
από τους γαλαξίες σημαίνει πως αυτοί οι γαλαξίες  
κινούνται μακριά μας.

Πως όμως όλοι οι γαλαξίες  
απομακρύνονται από μας;

Μόνο αν το σύμπαν από μόνο του διαστέλλεται.

Ένα ελάχιστο βήμα μας χωρίζει πλέον από την ερμηνεία του φαινομένου της φυγής των γαλαξιών και του νόμου του Hubble.

Αρκεί να κάνουμε στο μυαλό μας τις σωστές αντιστοιχίσεις και συγκρίσεις μεταξύ του απλού πειράματος που περιγράψαμε και των πραγματικών φαινομένων.

Η σημαντικότερη ίσως διαφορά τους βρίσκεται στο ότι η επιφάνεια του μπαλονιού έχει δύο διαστάσεις, ενώ ο πραγματικός χώρος τρεις.

Καταλήγουμε λοιπόν στο ακόλουθο  
συμπέρασμα:

Η φυγή των γαλαξιών και ο νόμος  
του Hubble ερμηνεύονται στα  
πλαίσια της αρχής της  
ομοιογένειας του Σύμπαντος,  
αν δεχτούμε ότι ολόκληρο  
το Σύμπαν διαστέλλεται  
ομοιόμορφα.

# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ



Το Σύμπαν διαστέλλεται.

Οι αποστάσεις μεταξύ των γαλαξιών  
αυξάνονται διαρκώς.

Ας ακολουθήσουμε τώρα αντίστροφα την πορεία  
του χρόνου και ας φανταστούμε την εικόνα του  
Σύμπαντος σ' ένα πάρα πολύ μακρινό παρελθόν.

Τότε, που οι αποστάσεις μεταξύ των υλικών  
σωμάτων ήταν ασφυκτικά μικρές,  
η συγκέντρωση της ύλης εξαιρετικά μεγάλη  
και οι βαρυτικές έλξεις,  
λόγω της υψηλής πυκνότητας,  
ήταν πολύ ισχυρές.

Για να πραγματοποιηθεί η διαστολή  
του Σύμπαντος, έπρεπε να  
εξουδετερωθεί η προκαλούμενη  
από τη βαρύτητα τάση για συστολή.  
Αυτό όμως θα ήταν εφικτό μόνον,  
αν τα σωματίδια της ύλης κινούνταν  
με πολύ μεγάλες ταχύτητες.

Επομένως, την εποχή αυτή το Σύμπαν θα πρέπει να ήταν υπερβολικά πυκνό και θερμό και η ύλη να βρισκόταν σε κατάσταση πλήρους ιονισμού.

Υπενθυμίζεται ότι η απόλυτη θερμοκρασία ενός σώματος είναι ανάλογη προς τη μέση κινητική ενέργεια των δομικών του σωματιδίων. Όταν οι ταχύτητές τους έχουν μεγάλες τιμές, είναι μεγάλη και η μέση κινητική τους ενέργεια, άρα και η θερμοκρασία του σώματος.

Γνωρίζουμε όμως ότι ένα πολύ πυκνό και θερμό σώμα εκπέμπει ακτινοβολία συνεχούς φάσματος .

Όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία του, τόσο περισσότερο μετατοπισμένο προς μικρότερα μήκη κύματος είναι το φάσμα της ακτινοβολίας του.

Αν υποθέσουμε ότι ζούσαμε την εποχή αυτή, ο ουρανός δε θα φαινόταν μαύρος τη «νύχτα».

Θα βλέπαμε φως λαμπρότερο από το ηλιακό, προερχόμενο όχι από συγκεκριμένη πηγή, να διαχέεται ομοιόμορφα σε όλον το χώρο!

Τι απέγινε η ακτινοβολία αυτή;  
Έχει απομείνει κάποιο ίχνος της  
που να μπορούμε να παρατηρήσουμε  
σήμερα και να επιβεβαιώνει  
τις υποθέσεις μας;  
Οι φυσικοί Gamow, Alpher και  
Herman πρόβλεψαν ήδη από τη  
δεκαετία του 1940 ότι,  
καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται,  
ψύχεται.

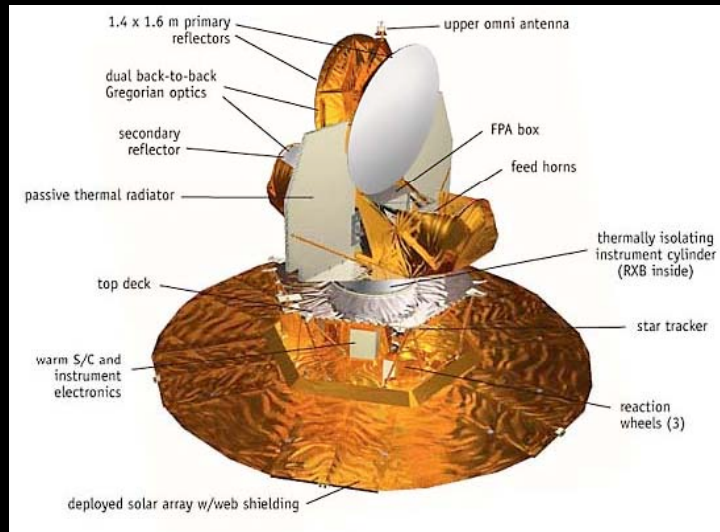
Επομένως, και το φάσμα της ακτινοβολίας αυτής θα πρέπει να μετατοπίζεται συνεχώς προς μεγαλύτερα μήκη κύματος.

Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σήμερα ολόκληρος ο χώρος πρέπει να διαχέεται ομοιόμορφα από μια ακτινοβολία μελανού σώματος θερμοκρασίας περίπου 5 K.

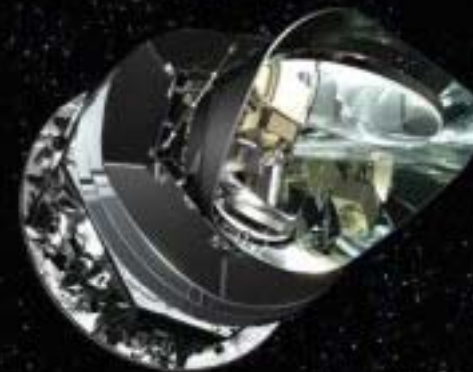
Το φάσμα της βρίσκεται στην περιοχή των μικροκυμάτων.

# Δορυφόροι για τη μέτρηση του CMB

•COBE (NASA, εκτόξευση 18 Νοεμβρίου)



•WMAP (NASA, εκτόξευση καλοκαίρι)



•PLANK (ESA, εκτόξευση 2009)



Η επιβεβαίωση ήρθε το 1965 από τους φυσικούς Penzias και Wilson.

Με την κεραία που κατασκεύασαν ανακάλυψαν μια ακτινοβολία που έρχεται με την ίδια ένταση από κάθε κατεύθυνση του χώρου.

Βρήκαν ότι έχει τη μέγιστη έντασή της σε μήκος κύματος 7,35 cm και αντιστοιχεί σε ακτινοβολία μελανού σώματος θερμοκρασίας 3,5 K (-269,5 C).

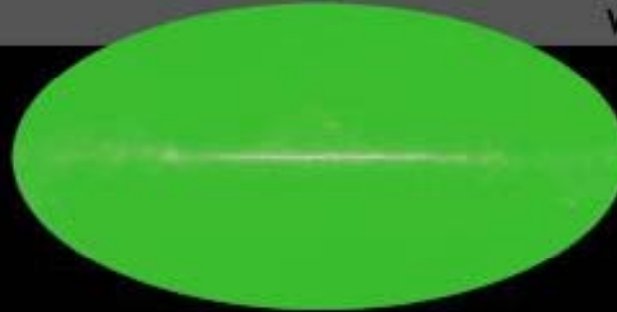


# Ακτινοβολία Υποβάθρου (CMB)

1965



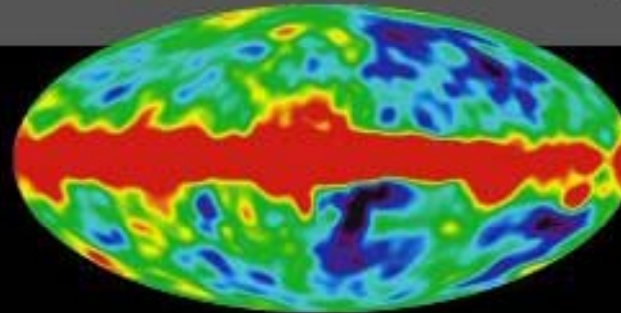
Penzias and  
Wilson



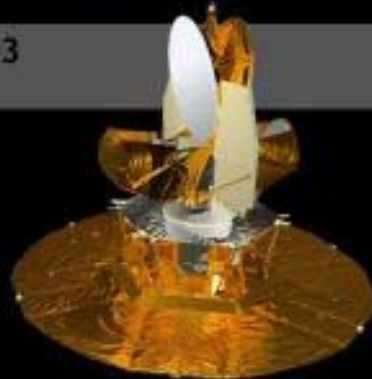
1992



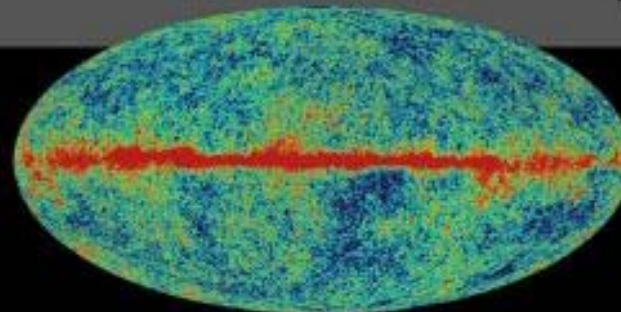
COBE



2003



WMAP





Η κεραία κερατοειδούς σχήματος, με την οποία οι Penzias και Wilson ανακάλυψαν το 1965 την ακτινοβολία υποβάθρου.

# Ακτινοβολία Υποβάθρου (CMB)

Το βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 1972 δόθηκε στους Penzias και Wilson

- Οι δυο μηχανικοί ανακάλυψαν τυχαία την ακτινοβολία υποβάθρου σαν μια ομοιόμορφη ακτινοβολία στον ουρανό στο ραδιοφωνικό μέρος του φάσματος, το 1965. Οι μετρήσεις έδειχναν ακτινοβολία μελανού σώματος περίπου 3000 K ( $\lambda \approx 1000\text{nm}$ ), που είχε μετατοπιστεί προς το κόκκινο κατά ένα παράγοντα 1000 (160GHz σήμερα, μήκος κύματος 2 χιλιοστά)



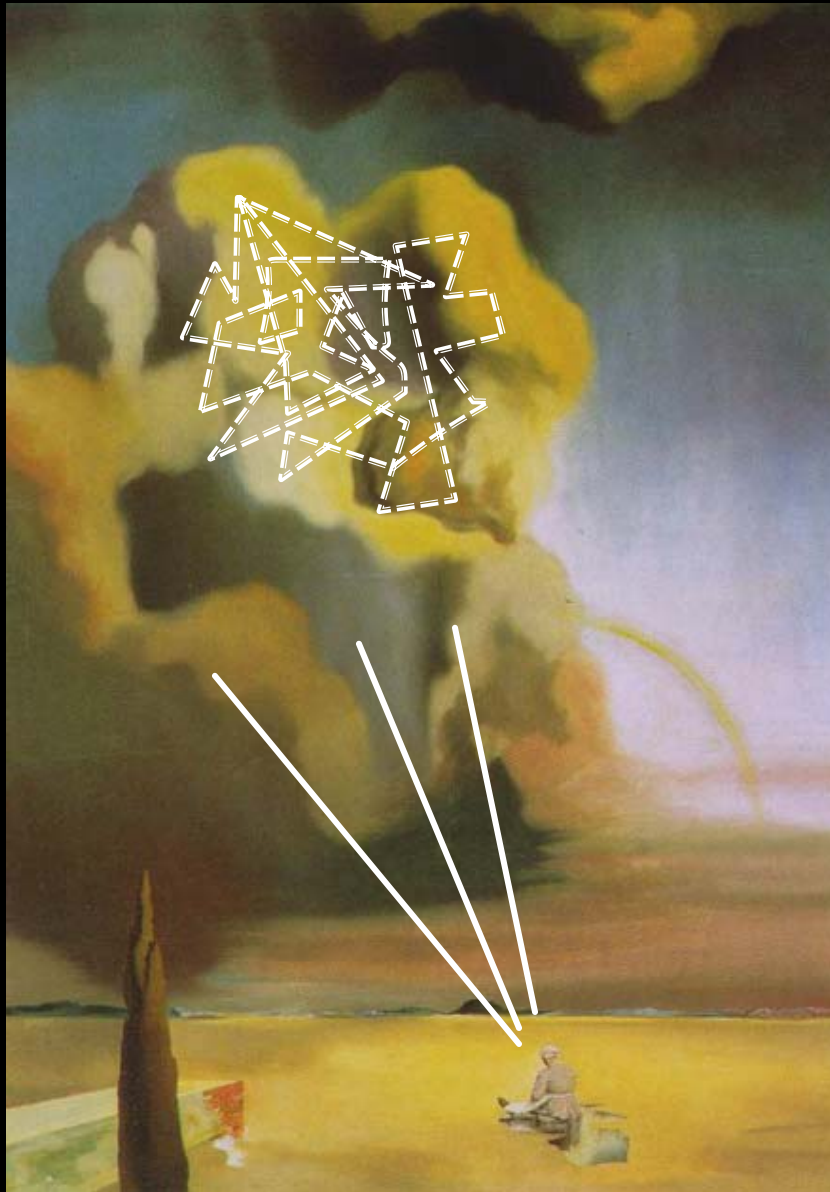
Η ακτινοβολία αυτή ονομάστηκε  
**ακτινοβολία υποβάθρου** και  
χαρακτηρίζεται από μεγάλη  
ομοιογένεια και ισοτροπία.

Το γεγονός αυτό ενισχύει σημαντικά  
τις υποθέσεις της ομοιογένειας και της  
ισοτροπίας του Σύμπαντος  
και συμβιβάζεται απόλυτα με την ιδέα  
της ομοιόμορφης διαστολής του.

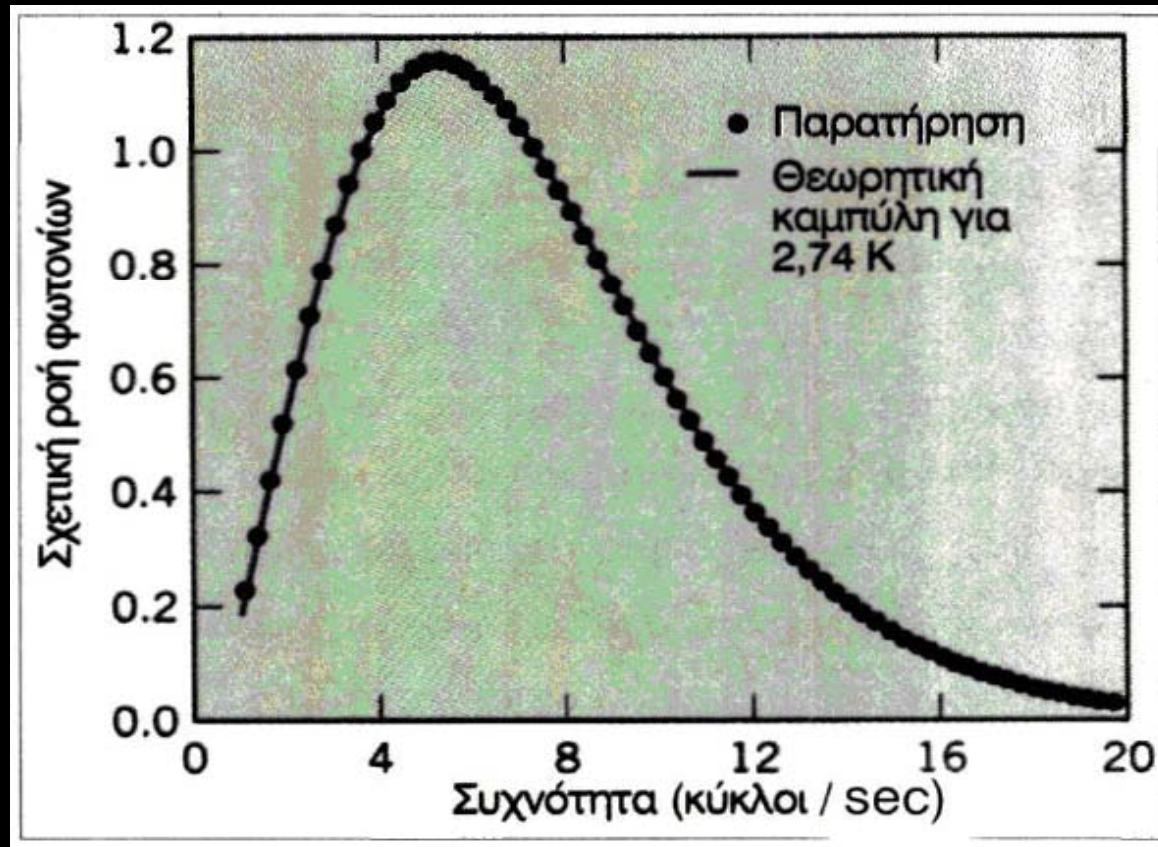
# Τι είναι η ακτινοβολία υπόβαθρου;

- Όταν το Σύμπαν ήταν πολύ νέο, δεν ήταν διαφανές στην ακτινοβολία. Ο λόγος είναι πως τα φωτόνια ήταν αρκετά ενεργητικά, ώστε να ιονίζουν άτομα που τυχόν έβρισκαν μπροστά τους.
- Μόνο όταν η θερμοκρασία του σύμπαντος έπεσε κάτω από την ελάχιστη ενεργεία ιονισμού (3000 K, η αλλιώς 0.25eV) τα φωτόνια δεν μπορούσαν πλέον να ιονίζουν άτομα, και ως εκ τούτου μπορούν να συνεχίσουν απρόσκοπτα την πορεία τους. Αυτό συνέβη όταν το σύμπαν είχε ηλικία 380000 χρόνια.
- Αυτά τα φωτόνια έχουν επιβιώσει μέχρι τις μέρες μας, αλλά μια και το σύμπαν έχει διασταλεί από τότε κατά ένα παράγοντα 1000, η θερμοκρασία τους έχει πέσει κατά ένα παράγοντα 1000 (η το μήκος κύματος τους έχει αυξηθεί κατά ένα παράγοντα 1000)

# Τι είναι η ακτινοβολία υπόβαθρου;



Κατ' αντιστοιχία, ο παρατηρητής βλέπει μόνο την επιφάνεια του σύννεφου (την εικόνα του σύμπαντος στα 380000 χρόνια) και όχι μέσα στο σύννεφο (πριν από τα 380000).



Το φάσμα της ακτινοβολίας υποβάθρου, όπως μετρήθηκε από το δορυφόρο COBE. Παρατηρήστε τη σύμπτωση των δεδομένων των μετρήσεων και της θεωρητικής καμπύλης.



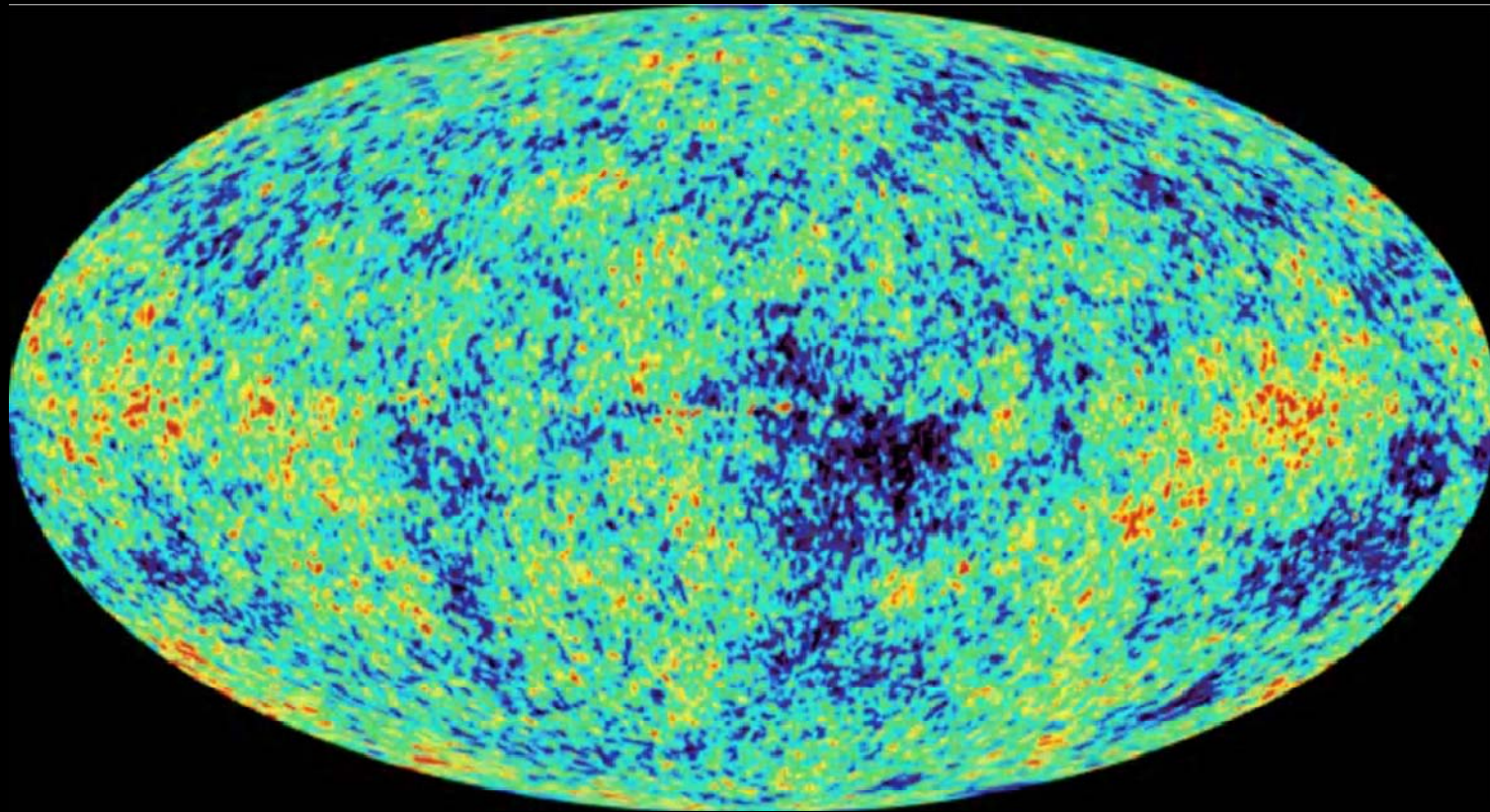
Δορυφόρος COBE



# Τι είναι η ακτινοβολία υπόβαθρου;

- Η ακτινοβολία υπόβαθρου έχει λοιπόν δυο σημαντικά χαρακτηριστικά:
  - Είναι ομοιόμορφη
  - Έχει διακυμάνσεις στο επίπεδο του  $10^{-5}$  που μας διδάσκουν πολλά για το σύμπαν

Ζεστά και κρύα σημεία → μικρές διακυμάνσεις πυκνότητας → εναύσματα

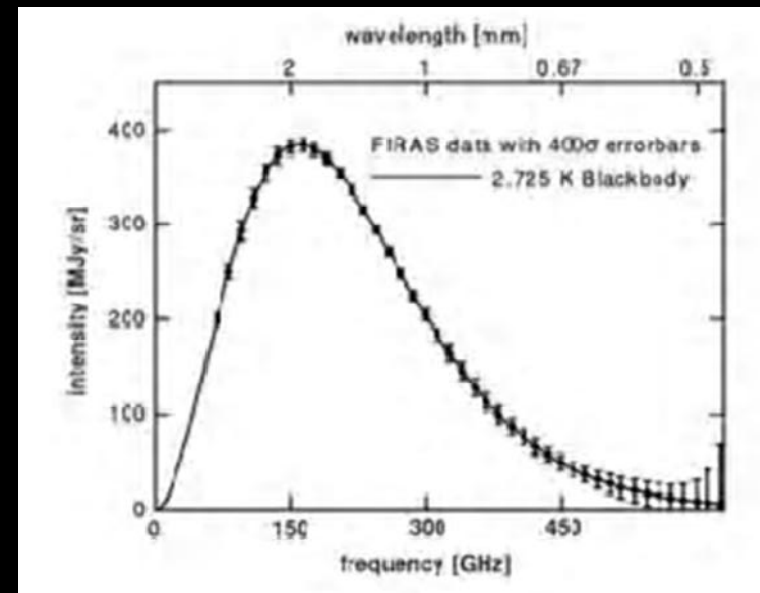
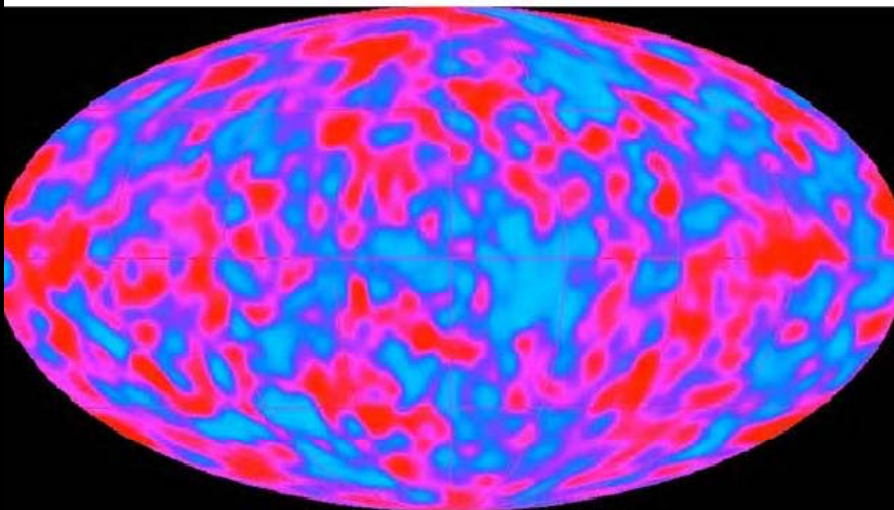


Λεπτομερής στατιστική ανάλυση των διακυμάνσεων μας δίνει μια πληθώρα πληροφοριών για το σύμπαν

# Ακτινοβολία Υποβάθρου (CMB)

Το βραβείο Νόμπελ Φυσικής το 2006 δόθηκε σε δυο από τους πρωτεργάτες του δορυφόρου COBE (NASA, 1989)

- Στον John C. Mather για την μέτρηση πως το CMB είναι ακτινοβολία μελανού σώματος

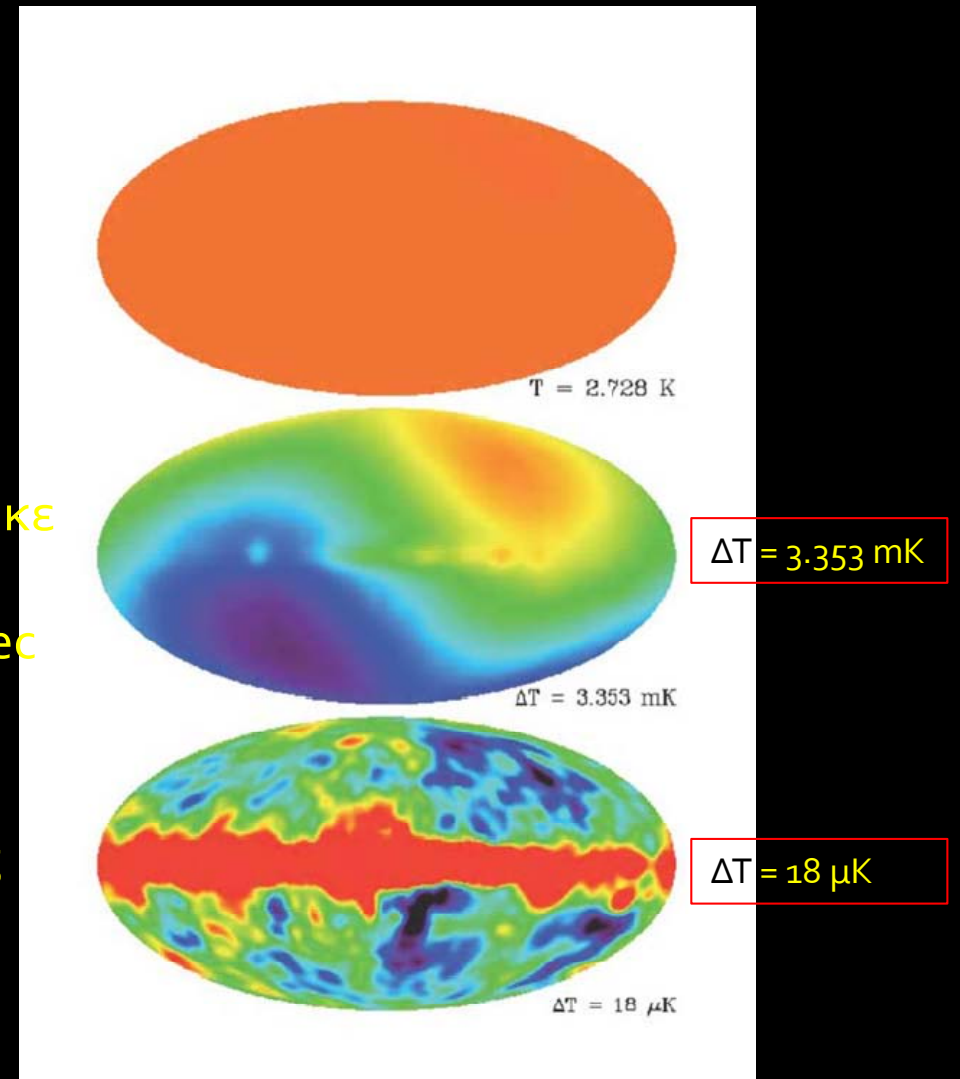


- Και στον George F. Smoot για την μέτρηση των πολύ μικρών διαφορών θερμοκρασίας

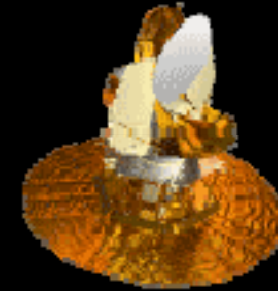
«αυτές οι μετρήσεις σηματοδοτούν την ένταξη της κοσμολογίας στις επιστήμες»

# Η ακτινοβολία υπόβαθρου

- Οι Penzias & Willson είδαν μόνο μια ομοιόμορφη ακτινοβολία
- Αργότερα, το Doppler shift της κίνησης του γαλαξία μας μετρήθηκε (κινείται προς τον αστερισμό του κενταύρου με ταχύτητα 620Km/sec)
- Μόλις το 1992 μετρήθηκε η ανομοιογένεια της ακτινοβολίας (σε επίπεδο  $10^{-5}$ )



Τι μπορούμε να καταλάβουμε από μια φωτογραφία του σύμπαντος όταν είχε ηλικία 380000 χρόνων;



Το σύμπαν τότε αποτελούνταν από ένα πολύ καυτό και πυκνό «αέριο», έτσι εξέπεμπε ακτινοβολία.

Αυτό είναι η ακτινοβολία που βλέπουμε όταν εξετάζουμε το CMB Ομοιόμορφη, αλλά με τη μικροσκοπικούς (αντίθεση  $\times 100000$ ) κυματισμούς πυκνότητας (και θερμοκρασίας)

**Κυματισμοί σε ένα αέριο; ΚΥΜΑΤΑ ΗΧΟΥ!**

Αυτές οι μικροσκοπικές διακυμάνσεις μας δίνουν τελικά τους γαλαξίες

Θεμελιώδης κοσμική κλίμακα  $\rightarrow$  Θεμελιώδης νότα και αρμονικές όπως το παίξιμο μίας φλογέρας....

## Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ HUBBLE ΚΑΙ Η ΗΛΙΚΙΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

«Ποια είναι η ηλικία του Σύμπαντος;  
Πότε άρχισε η διαστολή του;»

Κοντά στη χρονική στιγμή μηδέν ( $t = 0$ ), που ξεκίνησε η διαστολή και μαζί με αυτή και η Ιστορία του Σύμπαντος, η ύλη και η ακτινοβολία βρίσκονταν περιορισμένες σε έναν πολύ «ασφυκτικό» χώρο.

Αποστάσεις, που σήμερα είναι διαγαλαξιακής κλίμακας, τότε ήταν σχεδόν μηδενικές.

Ας υποθέσουμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται ομοιόμορφα και με σταθερό ρυθμό.

Τότε η ταχύτητα απομάκρυνσης δύο σημείων του χώρου, λόγω της διαστολής, είναι σταθερή και ανεξάρτητα από το χρόνο.

Αν, επομένως, δύο γαλαξίες απομακρύνονται με ακτινική ταχύτητα  $v$  και ονομάσουμε  $t$  την ηλικία του Σύμπαντος, τότε η σημερινή τους απόσταση είναι:

$$d = v \cdot t$$

Σύμφωνα όμως με το νόμο του Hubble, ισχύει η σχέση:

$$v = H \cdot d$$

Αντικαθιστούμε το  $v$  στη σχέση και λύνουμε ως προς  $t$ , οπότε προκύπτει ότι:

$$t = 1/H$$

Δηλαδή, η ηλικία του Σύμπαντος είναι ίση με το αντίστροφο της σταθεράς του Hubble.

Για  $H=20\text{Km/s/Mly}$  και με δεδομένο ότι

$1\text{Mly}=10^6 \cdot 3 \cdot 10^5 (\text{Km/s}) \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600\text{s}=9,46 \cdot 10^8 \text{Km}$ , έχουμε ότι

$$t=4,73 \cdot 10^{17} \text{ s}=1.5 \cdot 10^{10} \text{ y (έτη)}$$

Ωστε, η ηλικία του Σύμπαντος που υπολογίστηκε με βάση το νόμο του Hubble είναι περίπου 15 δισεκατομμύρια έτη.

Ο ισχυρισμός αυτός αποτελεί υπεραπλούστευση. Στην πραγματικότητα οι βαρύτιμες έλξεις προκαλούν μείωση της ταχύτητας διαστολής του Σύμπαντος σε συνάρτηση με το χρόνο. Στο πλαίσιο της προσέγγισης αυτής υπολογίζουμε τη μέγιστη πιθανή τιμή της ηλικίας του.

*Ισοδυναμία ύλης και ενέργειας:*

Αν ένα σώμα μάζας  $m$  μετατραπεί με οποιαδήποτε διαδικασία πυρηνικών αντιδράσεων εξ ολοκλήρου σε ακτινοβολία, τότε η ενέργεια ( $E$ ) που ελευθερώνεται είναι:

$$E=M \cdot c^2$$

όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

## *Σωματίδια αντιύλης:*

Είναι στοιχειώδη σωματίδια που έχουν την ίδια μάζα με τα αντίστοιχα σωματίδια της ύλης, αλλά οι τιμές των υπολοίπων φυσικών μεγεθών που τα χαρακτηρίζουν είναι αντίθετες.

Έτσι π.χ: Το αντιπρωτόνιο είναι το αντισωματίδιο του πρωτονίου.

Έχει ίδια μάζα με αυτό και αρνητικό φορτίο ίσης απόλυτης τιμής με το φορτίο του πρωτονίου

Το ποζιτρόνιο είναι το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου.

Έχουν ίσες μάζες και αντίθετα φορτία.





Τ Ε Λ Ο Σ