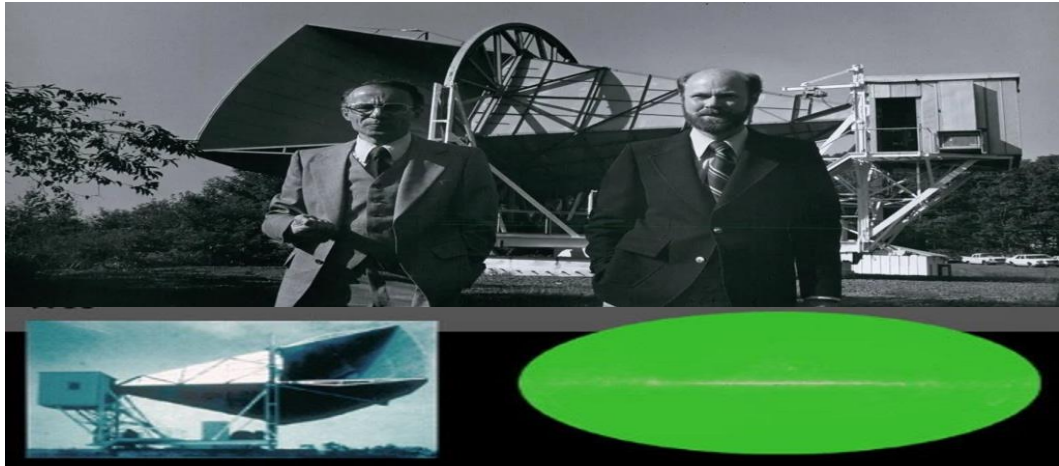


Η ΚΟΣΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΚΑΙ Η ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΟΥ ΑΝΑΔΥΕΤΑΙ ΑΠΟ ΑΥΤΗΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Η κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου (Cosmic Microwave Background radiation - CMB) είναι η ακτινοβολούμενη θερμότητα που απομένει από τη Μεγάλη Έκρηξη. Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1964 από τους Arno Penzias και Robert Wilson στα Bell Telephone Laboratories στο Murray Hill του New Jersey (Εικόνα 1).¹



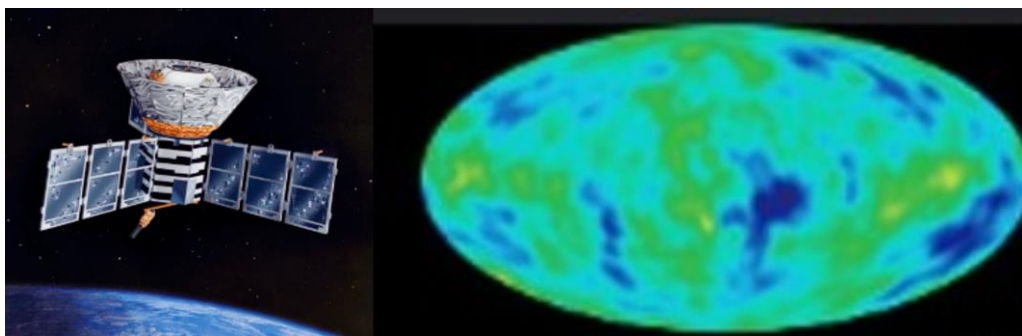
Εικόνα 1: (Πάνω) Οι Arno Penzias και Robert Wilson σε φωτογραφία μπροστά από το ραδιοτηλεσκόπιό τους στα 1964. (Κάτω) Το συνεχές, ισότροπο σήμα που έλαβαν οι δύο επιστήμονες στην κεραία Holmdel Horn που τους οδήγησε στην ανακάλυψη της CMB.

Η CMB αποτελεί ουσιαστικά την πρώτη εικόνα του νεαρού Σύμπαντος, εικόνα που κατάφερε να δραπετεύσει από το υπερπυκνό Σύμπαν, όπως χαρακτηριζόταν εκείνο μέχρι το έτος 380000, την εποχή δηλαδή που η θερμοκρασία έπεσε στο σημείο, στο οποίο τα ηλεκτρόνια δεν είχαν πλέον τις μεγάλες ταχύτητες για να διαφεύγουν από την έλξη των πρωτονίων. Ως αποτέλεσμα (αυτής της ελάττωσης της θερμοκρασίας και της μείωσης των ταχυτήτων των ηλεκτρονίων) ήταν η δέσμευση των ηλεκτρονίων, η δημιουργία ατόμων υδρογόνου και κατ' επέκτασιν η δημιουργία κενού χώρου, ώστε τα φωτόνια να μπορέσουν να διέλθουν μέσω αυτού του χώρου ανεμπόδιστα και τελικά να διαφύγουν για πρώτη φορά από το νεαρό εκείνο Σύμπαν με τη μορφή ακτινοβολίας, που ονομάστηκε Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων Υποβάθρου (CMB).

Οι ιδιότητες της ακτινοβολίας περιέχουν πλήθος πληροφοριών σχετικά με τις φυσικές συνθήκες που επικρατούσαν στο πρώιμο Σύμπαν και έχει καταβληθεί μεγάλη προσπάθεια για τη μέτρηση αυτών των ιδιοτήτων από την ανακάλυψή τους. Αυτή η ακτινοβολία (και κατ' επέκταση, το πρώιμο Σύμπαν), σε μια πρώτη ματιά, είναι εντυπωσιακά ομογενής (χωρίς ιδιαίτερα χαρακτηριστικά), παρουσιάζει σχεδόν την ίδια θερμοκρασία προς όλες τις κατευθύνσεις στον ουρανό [βλ. Εικόνα 1 (Κάτω)].

Το 1992, ο δορυφόρος Cosmic Background Explorer (COBE) της NASA εντόπισε μικροσκοπικές διακυμάνσεις (ανισοτροπίες), στην ομογενή εικόνα στο κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων, που είχαν ανακαλύψει οι Penzias Wilson. Βρήκε, για παράδειγμα, ένα μέρος του ουρανού να έχει θερμοκρασία 2,7251 K (Kelvin - βαθμοί πάνω από το απόλυτο μηδέν), ενώ ένα άλλο μέρος του ουρανού να έχει θερμοκρασία 2,7249 K. (Εικόνα 2)

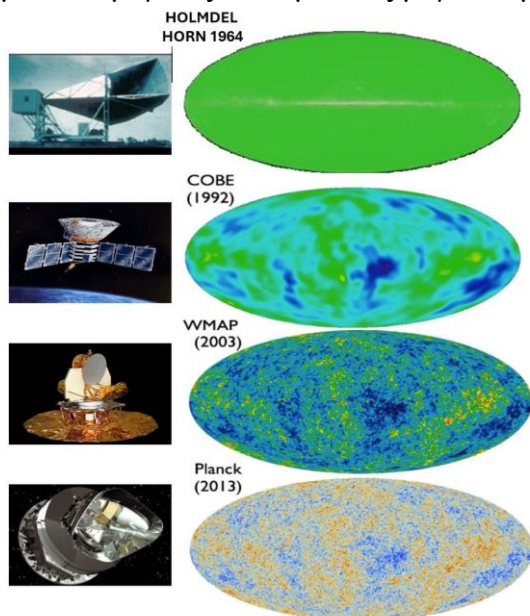
¹ Οι Robert Woodrow Wilson (10 Ιανουαρίου 1936 – 88 ετών το 2024) και Arno Allan Penzias (26 Απριλίου 1933 - 22 Ιανουαρίου 2024), Αμερικανοί αστρονόμοι που, στα 1964 με τη βοήθεια μιας κερατοειδούς σχήματος κεραίας, την οποία οι ίδιοι κατασκεύασαν, ανακάλυψαν μια ακτινοβολία της οποίας αγνοούσαν την πηγή, καθώς τη λάμβαναν από κάθε κατεύθυνση. Ήταν η κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου CMB. Το ζευγάρι κέρδισε το Νόμπελ Φυσικής το 1978 για την ανακάλυψή του.



Εικόνα 2: (Αριστερά) Ο Δορυφόρος COBE-Cosmic Background Explorer. (Δεξιά) Ο χάρτης των ανισοτροπιών στην CMB που προέκυψε από τα στοιχεία του COBE στα 1992.

Αυτές οι διακυμάνσεις παραλληλίστηκαν και συνδέθηκαν με τις διακυμάνσεις της πυκνότητας της ύλης στο πρώιμο σύμπαν.

Μ' αυτόν τον τρόπο μεταφέρθηκαν πληροφορίες σχετικά με τις αρχικές συνθήκες για το σχηματισμό κοσμικών δομών όπως οι γαλαξίες, τα σμήνη γαλαξιών και τα κενά. Ο COBE σάρωσε ένα τμήμα (γωνιακή ανάλυση) 7 μοιρών στον ουρανό, 14 φορές μεγαλύτερο από το φαινομενικό μέγεθος της Σελήνης. Αυτό έκανε τον COBE ευαίσθητο μόνο σε μεγάλες διακυμάνσεις μεγάλου μεγέθους.



Εικόνα 3: Οι χάρτες διακυμάνσεων-ανισοτροπιών, όπως δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα που έστειλαν τα αντίστοιχα τηλεσκόπια.

Σχεδόν δέκα χρόνια αργότερα ο Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) εκτοξεύτηκε τον Ιούνιο του 2001 από τη NASA και δημιούργησε έναν λεπτομερέστερο χάρτη των διακυμάνσεων θερμοκρασίας της ακτινοβολίας CMB με πολύ υψηλότερη ανάλυση, ευαισθησία και ακρίβεια από τον COBE.

Μια ακόμη λεπτομερέστερη παρατήρηση ανισοτροπιών της CMB έστειλε ο δορυφόρος Planck μετά την εκτόξευσή του από την ESA, η οποία έλαβε χώρα την 14 Μαΐου 2009.

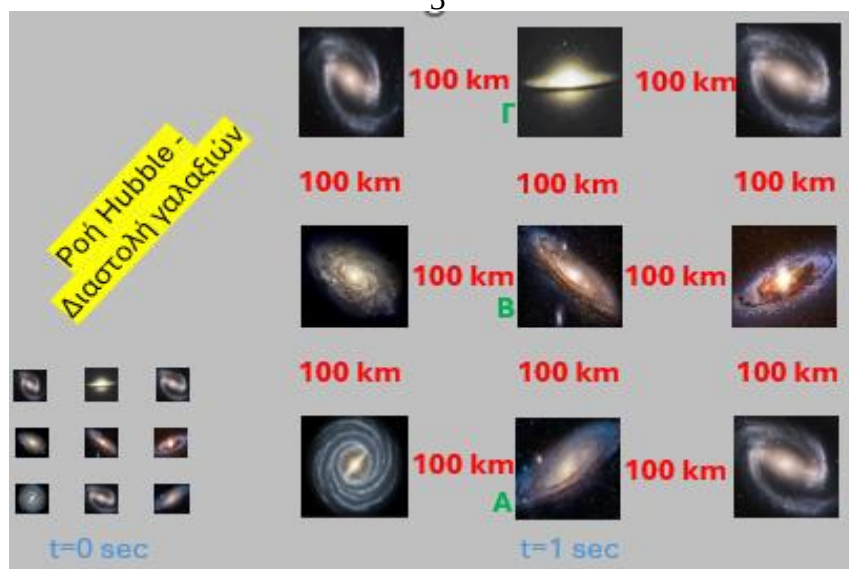
Οι νέες πληροφορίες, που προήλθαν από αυτές τις λεπτομερέστερες εικόνες (λεπτότερες διακυμάνσεις-ανισοτροπίες) των WMAP και Planck, έριξαν φως σε πολλά από τα τρέχοντα ανοιχτά ζητήματα της σύγχρονης Κοσμολογίας, ταυτόχρονα όμως δημιούρ-

γησαν νέα κρίσιμα και βαθύτερα ερωτήματα σχετικά με τη φύση του Σύμπαντος, έτσι ώστε δεν είναι υπερβολή να μιλάμε για μια νέα CMB Κοσμολογία.

Ας ξεκινήσουμε όμως την μελέτη των νέων δεδομένων προσαρμόζοντάς τα στο διαστελλόμενο Σύμπαν, συγκεκριμένα ας δούμε, αρχικά, με τι μοιάζει και πώς συμπεριφέρεται ένα διαστελλόμενο Σύμπαν.

ΠΩΣ ΜΟΙΑΖΕΙ ΕΝΑ ΔΙΑΣΤΕΛΛΟΜΕΝΟ ΣΥΜΠΑΝ

Ας φανταστούμε ένα σύνολο γαλαξιών όπως για παράδειγμα αυτό της Εικόνας 4 (Αριστερά). Με την πάροδο του χρόνου το Σύμπαν διαστέλλεται και αν υποθέσουμε ότι η ταχύτητα διαστολής είναι 100 km/sec, τότε ένα δευτερόλεπτο αργότερα ($t=1 \text{ sec}$) περίπου 100 km χώρου έχουν προστεθεί μεταξύ κάθε ζεύγους γαλαξιών. Εικόνα 4 (Δεξιά).



Εικόνα 4: (Αριστερά) Τη χρονική στιγμή $t_1=0$ sec οι γαλαξίες απέχουν μια συγκεκριμένη απόσταση ο ένας από τον άλλον. (Δεξιά) Μετά την πάροδο ενός δευτερολέπτου ($t_2=1$ sec) περίπου 100 km χώρου έχουν προστεθεί μεταξύ κάθε ζεύγους γαλαξιών. Ο γαλαξίας B απέχει από εμάς (που είμαστε στον γαλαξία A) περίπου 100 km ενώ ο Γ απέχει 200 km από εμάς. Αυτό σημαίνει ότι ο B απομακρύνθηκε από εμάς με ταχύτητα 100 km/sec ενώ ο Γ με διπλάσια ταχύτητα 200 km/sec

Αν κοιτάζουμε αυτή την εικόνα απ' έξω (όπως την κοιτάζουμε αυτή τη στιγμή στην οθόνη του υπολογιστή μας, χωρίς να βρισκόμαστε πάνω σε κάποιον γαλαξία) φαίνεται σαν μια απολύτως ομοιόμορφη διαδικασία, διότι δεν υπάρχει προτιμητέο σημείο στο Σύμπαν, και επιπλέον όλα τα σημεία-γαλαξίες φαίνεται να απομακρύνονται (από όλα) με την ίδια ταχύτητα (100 km/sec).

Επειδή όμως μιλάμε για το Σύμπαν ολόκληρο, δεν υπάρχει έξω απ' όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε την εικόνα. Θα πρέπει λοιπόν να τοποθετηθούμε σε κάποιον από τους γαλαξίες και να προσπαθήσουμε να φανταστούμε (σκεφτούμε) το αποτέλεσμα που μπορεί να έχει αυτή η διαστολή στους μακρινούς μας γείτονες (γαλαξίες).

Ας φανταστούμε ότι ο δικός μας γαλαξίας είναι ο γαλαξίας A. Μετά από 1 sec ο γαλαξίας B έχει απομακρυνθεί 100 km από εμάς, οπότε φαίνεται να απομακρύνεται με ταχύτητα 100 km/sec. Αντίστοιχα ο γαλαξίας Γ (ο οποίος αρχικά ήταν δυο φορές πιο μακριά από τον A απ' ότι ο B) στο δευτερόλεπτο αυτό έχει απομακρυνθεί 200 km από εμάς (100 km + 100 km), έτσι φαίνεται να απομακρύνεται με ταχύτητα 200 km/sec. Κάπως έτσι λοιπόν φαίνεται ένα διαστελλόμενο Σύμπαν σ' έναν παρατηρητή που βρίσκεται μέσα σ' αυτό:

«...όσο πιο μακριά βρίσκεται ένας γαλαξίας
τόσο πιο γρήγορα φαίνεται να απομακρύνεται...»

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

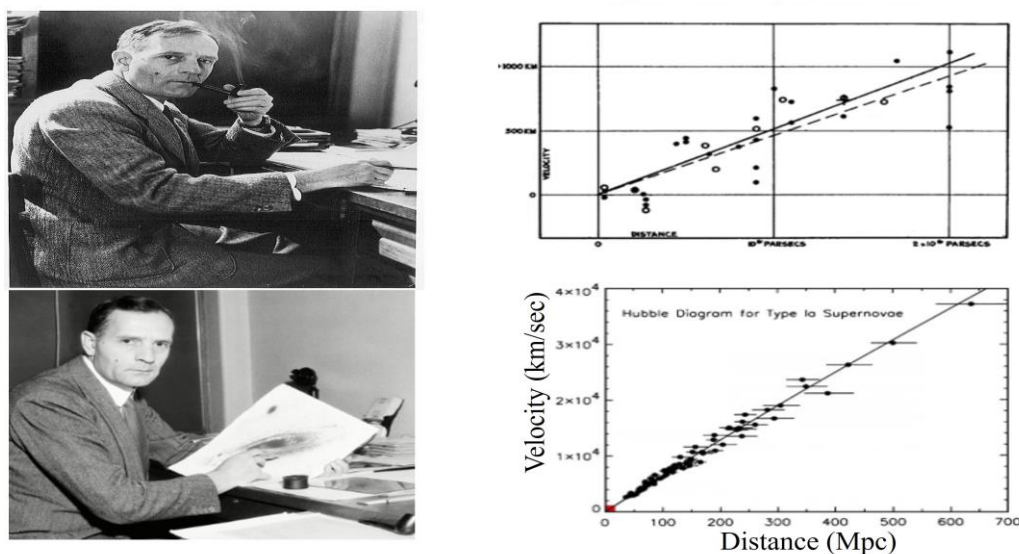
Η ταχύτητα απομακρύνσεως των γαλαξιών είναι ίδια για κάποιον που υποθετικά θα βρισκόταν έξω από το Σύμπαν και θα παρατηρούσε από έξω τη διαστολή. Για κάποιον όμως που βρίσκεται μέσα σ' αυτό, ισχύει η διαδικασία που παραπάνω περιγράψαμε.

Αυτό ανακάλυψε στα 1929 και ο Edwin Hubble μετρώντας ανεξάρτητα τις αποστάσεις και τις ταχύτητες απομακρύνσεως για 24 γαλαξίες (βλέπε Εικόνα 5 άνω διάγραμμα) και διαπίστωσε ότι ακολουθούσαν τον παρακάτω κανόνα:

«...όσο πιο μακριά βρίσκεται ένας γαλαξίας
τόσο πιο γρήγορα φαίνεται να απομακρύνεται...»

Σήμερα αυξήσαμε κατά πολύ αυτό το δείγμα των μετρούμενων γαλαξιών. Οι αποστάσεις και οι ταχύτητες απομακρύνσεως έχουν μετρηθεί ανεξάρτητα για εκατοντάδες γαλαξίες και βρέθηκε ότι ακολουθούν πιστά την γραμμική σχέση που προέβλεψε ο Hubble για ένα διαστελλόμενο Σύμπαν (βλέπε Εικόνα 5 κάτω διάγραμμα).

Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως **Νόμος του Hubble** και αυτή η απομάκρυνση όλων των γαλαξιών από όλους τους άλλους, η διαστολή δηλαδή του Σύμπαντος, είναι γνωστή ως **Ροή Hubble**.



Εικόνα 5: (Αριστερά) Ο Edwin Hubble. (Δεξιά πάνω) το διάγραμμα με στοιχεία από τους 24 γαλαξίες που μελέτησε ο Hubble στα 1929. (Δεξιά κάτω) Νεότερο διάγραμμα Hubble με στοιχεία από υπερκαινοφανείς τύπου Sne Ia.

(Πηγή: © 2004 National Academy of Sciences, U.S.A.)

Φαίνεται λοιπόν ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την επιστημονική μέθοδο για να ελέγξουμε το συμπέρασμά μας αυτό; Υπάρχει κάποιος άλλος τρόπος να εξηγηθούν οι παρατηρήσεις του Hubble;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ CMB ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα δίδεται από την ακτινοβολία CMB.

Αν το Σύμπαν διαστέλλεται, αυτό σημαίνει ότι με την πάροδο του χρόνου γίνεται μεγαλύτερο, πιο αραιό και πιο ψυχρό. Αντίστροφα στο παρελθόν του το Σύμπαν θα πρέπει να ήταν πιο μικρό, πιο πυκνό και πιο θερμό.

Όσο πιο πίσω πηγαίνουμε στο παρελθόν τόσο μικρότερο, τόσο πιο μικρό και τόσο πιο θερμό θα πρέπει να βρίσκουμε το Σύμπαν. Έτσι κάποια στιγμή στο παρελθόν του το Σύμπαν θα πρέπει να ήταν τόσο πυκνό και τόσο θερμό ώστε η ύλη του θα ήταν ιονισμένη. Τα ηλεκτρόνια λόγω της υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας ανέπτυσσαν τέτοιες ταχύτητες που οι πυρήνες δεν ήταν δυνατόν να τα συγκρατήσουν και μοιραία απομακρύνονταν και αποσπώνταν απ' αυτούς. Έτσι ελεύθερα φορτία κινούνταν προς όλες τις κατευθύνσεις. Ολόκληρο το Σύμπαν θα πρέπει να ήταν μια «ιονισμένη σούπα», μια φλεγόμενη σφαίρα πλάσματος (όπως ο Ήλιος).

Μια τέτοια ιονισμένη σφαίρα πλάσματος εκπέμπει ακτινοβολία περίπου σε μήκη κύματος που μπορούμε να δούμε με τα μάτια μας. Όσο το Σύμπαν ήταν ιονισμένο η ακτινοβολία αυτή απλώς σκεδαζόταν, διασκορπίζονταν προς όλες τις κατευθύνσεις και δεν μπορούσε να ξεφύγει έξω από τη σφαίρα.²

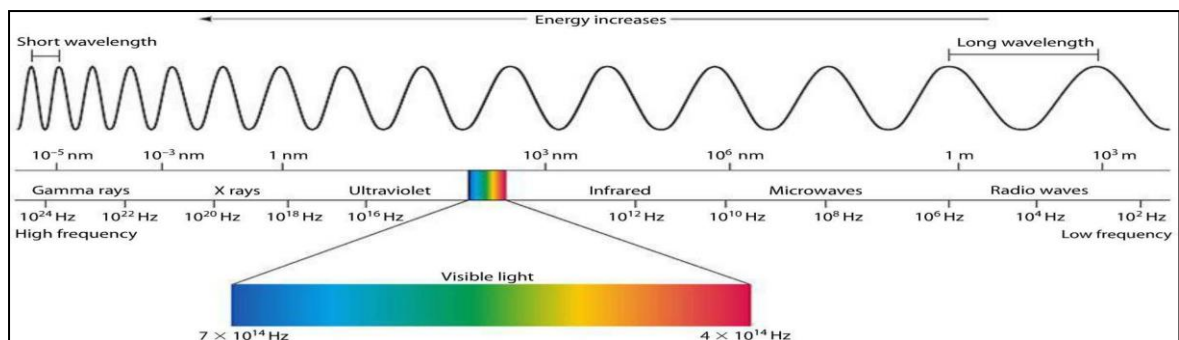
Με την πάροδο του χρόνου το Σύμπαν διαστέλλεται, γίνεται ολοένα λιγότερο πυκνό και λιγότερο θερμό. Τα ηλεκτρόνια μην έχοντας πλέον τις μεγάλες ταχύτητες που είχαν πριν, δεν μπορούν πια να ξεφεύγουν από την έλξη των πρωτονίων (πυρήνων

² Το Σύμπαν στην κατάσταση αυτή ήταν τόσο πυκνό που δεν υπήρχε κενός χώρος ώστε η ακτινοβολία να διέλθει απ' αυτόν χωρίς να σκεδαστεί και να «δραπετεύσει» στο ταξίδι του προς το μέλλον.

υδρογόνου), δεσμεύονται από αυτά και δημιουργούν ουδέτερα άτομα υδρογόνου, που επιτρέπουν πλέον τη διέλευση της ακτινοβολίας μεταξύ αυτών.

Η απελευθέρωση (αποδέσμευση) της ακτινοβολίας από την ύλη έχει ως αποτέλεσμα αυτή (η ακτινοβολία) να ξεκινήσει το αρχαίο και αέναο ταξίδι της μέσα στο Σύμπαν. Καθώς ταξιδεύει, η ακτινοβολία όπως και το Σύμπαν, ψύχεται...

Ένα χαρακτηριστικό της ακτινοβολίας είναι το μήκος κύματος. Τις πρώτες στιγμές που η ακτινοβολία απελευθερώθηκε, το μήκος κύματός της ήταν πολύ μικρό, η συχνότητά της πολύ μεγάλη³ (πολύ μεγάλη ήταν και η θερμοκρασία του Σύμπαντος) και το χρώμα της ιώδες. Καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται (ψύχεται) και η ακτινοβολία ταξιδεύει προς το «σήμερα», η ακτινοβολία χάνει ενέργεια, το μήκος κύματός της μεγαλώνει και «χρωματίζεται» διαδοχικά: γαλάζια, πράσινη, κίτρινη και στη συνέχεια ερυθρή, υπέρυθη και φθάνει στο σήμερα με τη μορφή μικροκυμάτων (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όσο το Σύμπαν διαστέλλεται-ψύχεται η ακτινοβολία που εκπέμπει έχει μικρότερη ενέργεια και συχνότητα, μεγαλύτερο μήκος κύματος. Φθάνοντας στο σήμερα η ακτινοβολία έχει χάσει πολύ ενέργεια και η συχνότητά της πλέον βρίσκεται στα μικροκύματα. Αυτός είναι ο λόγος που η CMB πήρε την ονομασία «ακτινοβολία μικροκυμάτων»

Αν λοιπόν η υπόθεση μας για τη διαστολή του Σύμπαντος είναι σωστή, αυτή η ακτινοβολία θα πρέπει ακόμα να φθάνει στα μάτια μας (τηλεσκόπιά μας) από την «αυγή» του χρόνου με τη μορφή της ακτινοβολίας μικροκυμάτων.

Πράγματι στα 1964 οι A. Penzias και R. Wilson ανακάλυψαν αυτή την ισοτροπική ακτινοβολία στο ραδιοτηλεσκόπιο Holmdel Horn, που οι ίδιοι κατασκεύασαν (Εικόνα 1). Το σήμα που έλαβαν οι Penzias και Wilson έχει ένα φάσμα κατανομής μικροκυμάτων ενός μελανού σώματος,⁴ όπως ακριβώς θεωρείται ότι ήταν το Σύμπαν στην «βρεφική» ηλικία των 380.000 ετών.

Η ακτινοβολία αυτή φθάνει στη Γη σήμερα απ' όλες τις κατευθύνσεις, όπως ακριβώς θα αναμέναμε από ένα κοσμικό κύμα. Η εκπομπή αυτή είναι γνωστή σήμερα με την ονομασία Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων Υποβάθρου (CMB radiation) και η ανίχνευσή της αποτέλεσε περίτρηνη επιβεβαίωση του διαστελλόμενου Σύμπαντος.

CMB ΚΑΙ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

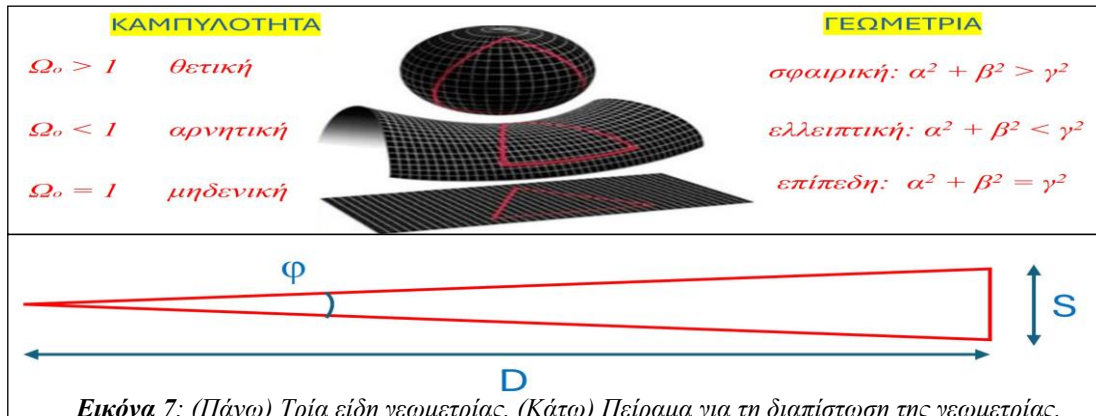
Οι εξισώσεις της ΓΘΣ προβλέπουν μια σχέση του ρυθμού διαστολής της ύλης και ενέργειας του Σύμπαντος και της καμπυλότητας του χώρου.

Με τον όρο καμπυλότητα εννοούμε την γεωμετρία που διέπει τον χώρο και στην οποία βασιζόμαστε για να λύσουμε γεωμετρικά προβλήματα και να υπολογίσουμε αποστάσεις.

³ Η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους κύματος σύμφωνα με τη σχέση: $f=c/\lambda$, c : η ταχύτητα του φωτός.

⁴ Το μελανό σώμα θεωρείται ένα πυκνό, καυτό, αδιαφανές μέσο, το οποίο δεν ακτινοβολεί, ή για την ακρίβεια: του οποίου η ακτινοβολία στο εσωτερικό σκεδάζεται πολύ έντονα, ώστε θεωρητικά είναι εγκλωβισμένη σ' αυτό. Έτσι θεωρείται ότι συμπεριφέρονταν το νεαρό Σύμπαν ακριβώς πριν την εκπομπή της CMB. Περισσότερα για το μελανό σώμα βλέπε στο Παράρτημα Α.

Στις τρεις μορφές καμπυλότητας (θετική – αρνητική – μηδενική) αντιστοιχούν τρία είδη γεωμετρίας: η σφαιρική (Ρημάνεια), η ελλειπτική και η επίπεδη (Ευκλείδειος).



Την όποια απάντηση στο «ποια γεωμετρία ακολουθεί το Σύμπαν;» την δίνει τελικά η CMB.

Σε μικρή κλίμακα η εκπομπή της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων υποβάθρου φαίνεται ομοιογενής. Με μια πιο λεπτομερή ματιά στους χάρτες CMB όμως παρατηρούμε μικρές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία, δηλαδή μέρη του ουρανού που το φως (ακτινοβολία) είναι λίγο πιο ζεστό και άλλα που είναι πιο κρύο. Αυτές οι θερμές και ψυχρές κηλίδες εντοπίστηκαν αρχικά στον χάρτη που δημιουργήθηκε από τα στοιχεία που έστειλε ο δορυφόρος COBE στα 1992, ο οποίος στις επόμενες δεκαετίες μελετήθηκε εντατικότερα και συμπληρώθηκε με νεότερα και λεπτομερέστερα στοιχεία από τις αποστολές WMAP (2003) και Planck (2013). Η εικόνα αυτή, η οποία είναι ένα στιγμιότυπο του βρεφικού Σύμπαντος δίνει δύο σημαντικές για την κοσμολογία πληροφορίες.

ΠΡΩΤΟΝ δίνει στοιχεία για την προέλευση των πολύ μεγάλων δομών στο Σύμπαν (γαλαξιών, ομάδων γαλαξιών και σμηγών γαλαξιών), σηματοδοτώντας τις περιοχές που αρχικά ήταν λίγο πιο πυκνές από το γειτονικό τους περιβάλλον, επισημαίνοντας δηλαδή μικρές διακυμάνσεις στην γενική ομοιογένεια του χώρου και κυρίως στην πυκνότητα της ύλης. Οι διακυμάνσεις αυτές στην πυκνότητα της ύλης, καθώς το Σύμπαν συνέχισε να διαστέλλεται, αυξήθηκαν σταδιακά με την επίδραση της βαρύτητας. Έτσι σχηματίστηκαν περιοχές οι οποίες άρχισαν να προσελκύουν όλο και περισσότερη ύλη με αποτέλεσμα να καταρρεύσουν βαρυτικά σχηματίζοντας, μερικές εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια αργότερα, τα πρώτα άστρα και τους πρώτους μικρούς γαλαξίες, από τους οποίους προήλθαν οι μεγαλύτερες δομές που σήμερα παρατηρούμε.

ΔΕΥΤΕΡΟΝ δίνει στοιχεία για τη γεωμετρία και την καμπυλότητα του χώρου. Ας δούμε πώς γίνεται αυτό.

Η εικόνα που παίρνουμε από τους δορυφόρους για την κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου είναι γεμάτη «φακίδες», δηλαδή θερμές και ψυχρές κηλίδες διαφόρων μεγεθών. Όλα τα μεγέθη των κηλίδων αυτών όμως δεν είναι εξίσου πιθανά (δεν εμφανίζονται με την ίδια συχνότητα στο χάρτη). Συγκεκριμένα υπάρχει ένα μέγεθος κηλίδων που επικρατεί σε συχνότητα στο χάρτη. Ο λόγος είναι ότι για να δημιουργηθεί μια κηλίδα (ψυχρή ή θερμή) θα πρέπει τα γειτονικά της μέρη να συντονιστούν και να εξομοιώσουν τη θερμοκρασία τους. Αυτή η διαδικασία απαιτεί χρόνο αφού η κάθε πληροφορία (αυτή της θερμοκρασίας στην κηλίδα) δεν μεταδίδεται ακαριαία. Γνωρίζουμε, από την κατάσταση πλάσματος που επικρατεί στο εσωτερικό του Ήλιου,⁵ ότι η

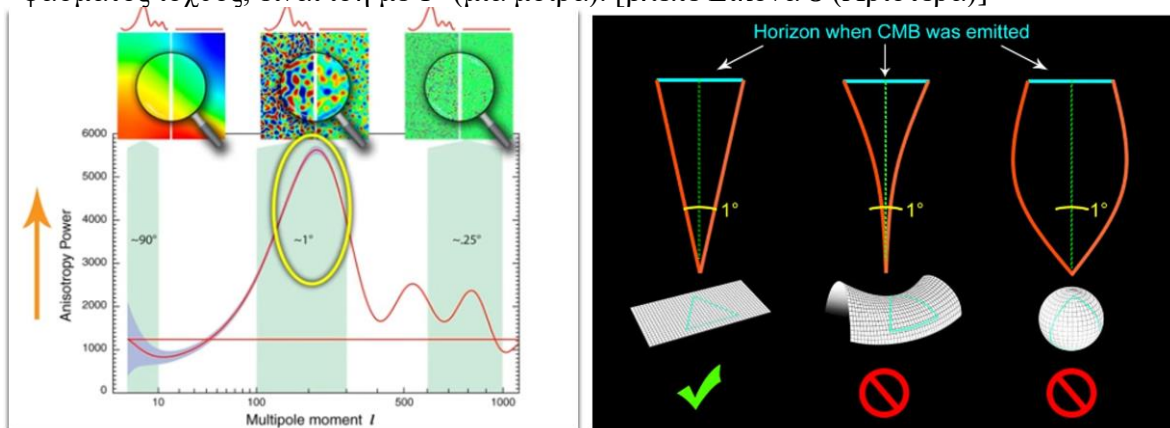
⁵ Η κατάσταση πλάσματος στο εσωτερικό του Ήλιου είναι από φυσικής άποψης μια ταυτόσημη κατάσταση (και ως προς τη θερμοκρασία και ως προς την πίεση και ως προς σωματιδιακή σύσταση του ρευστού -πυρήνες He [πρωτόνια]- και ως προς την πυκνότητα αυτών) με την κατάσταση πλάσματος που επικρατούσε στο νεαρό Σύμπαν. Έτσι μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες για την κατάσταση πλάσματος του νεαρού Σύμπαντος από την αντίστοιχη στο εσωτερικό του Ήλιου, η οποία είναι γνωστή από τη φυσική πλάσματος.

πληροφορία στην κατάσταση πλάσματος που επικρατούσε στο νεαρό Σύμπαν διαδίδονταν μόλις με την ταχύτητα του ήχου. Την κοσμική χρονική στιγμή που εκπέμπεται η CMB το Σύμπαν είναι μόλις 380.000 ετών και επομένως δεν υπήρξε αρκετός χρόνος για να δημιουργηθούν πολύ μεγάλες κηλίδες.⁶ Το κυρίαρχο μέγεθος των κηλίδων του χάρτη καθορίζεται λοιπόν από την απόσταση που θα μπορούσε να διανύσει ένα ηχητικό κύμα στο χρόνο των 380.000 ετών. Μπορούμε συνεπώς να υπολογίσουμε τη διάμετρο των κηλίδων που κυριαρχούν. Μια μέθοδος με την οποία υπολογίζουμε το μέγεθος αλλά και την συχνότητα εμφάνισης των κηλίδων είναι αυτή της ανάλυσης του «φάσματος ισχύος» του χάρτη. (βλ. [2] σελ.8-10) Περισσότερα για τη μέθοδο αυτή βλέπε στο Παράρτημα Β. Από τη διάμετρο των πιο συχνά εμφανιζόμενων κηλίδων στον χάρτη CMB υπάρχει τρόπος για να υπολογίσουμε τη γεωμετρία του Σύμπαντος.

Η μέτρηση της γεωμετρίας του χώρου είναι στην ουσία ένα «πείραμα τριγωνομετρίας».

Αν μπορούσαμε να τοποθετήσουμε μία ράβδο γνωστού μήκους (S) σε μια γνωστή απόσταση (D) και μετρούσαμε πόσο μεγάλη φαίνεται στον ουρανό (φαινόμενη γωνία παρατήρησης ϕ), τότε θα μπορούσαμε να δοκιμάσουμε τριγωνομετρικές σχέσεις που ισχύουν σε διάφορες γεωμετρίες και συνδέουν αυτές τις τρεις ποσότητες και να διαπιστώσουμε ποια γεωμετρία λειτουργεί. [Εικόνα 7 (Κάτω)]

Ας θεωρήσουμε λοιπόν «ράβδους» μήκους ίσου με τη διάμετρο των κηλίδων, δηλαδή με τη διάμετρο της κηλίδας όταν εκπέμφθηκε η CMB. Αν τώρα θεωρητικά τοποθετήσουμε τη ράβδο στην εποχή του νεαρού Σύμπαντος (380.000 έτος), αυτή θα βρίσκεται στην απόσταση που διένυσε η κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων από τη στιγμή της εκπομπής της (380.000 έτος) μέχρι σήμερα. Αυτό που λείπει στην «τριγωνομετρική δοκιμή» για τον καθορισμό της γεωμετρίας και καμπυλότητας του Σύμπαντος είναι η γωνία με την οποία φαίνονται οι πιο συχνές κηλίδες στο χάρτη, με άλλα λόγια: «σε ποια γωνία παρατήρησης αντιστοιχεί η ράβδος». Αυτή η γωνία, όπως προκύπτει από το διάγραμμα ανάλυσης φάσματος ισχύος, είναι ίση με 1° (μία μοίρα). [βλέπε Εικόνα 8 (Αριστερά)]



Εικόνα 8: (Αριστερά) Το φάσμα ισχύος της CMB δείχνει ότι οι συχνότερες κηλίδες ($\ell=200$) καλύπτουν μόνο 1° στον ουρανό. (Δεξιά) Η μόνη γεωμετρία στην οποία ταιριάζουν: το μέγεθος της συχνότερης κηλίδας, η απόστασή της από το 380.000 έτος μέχρι σήμερα και, η γωνία παρατήρησης της κηλίδας σήμερα να είναι 1° , είναι η επίπεδη (Ευκλείδειος) γεωμετρία.

Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα, εκτελούμε το «τριγωνομετρικό πείραμα» και διαπιστώνουμε ότι η μόνη γεωμετρία στην οποία το μέγεθος της ράβδου (κηλίδας) φαίνεται υπό γωνία 1° στην απόσταση από τη στιγμή της εκπομπής της CMB μέχρι σήμερα, είναι η επίπεδη γεωμετρία.

Πράγματι στην Εικόνα 8 (Δεξιά) παρατηρούμε ότι με την σφαιρική (Ρημάνειο) γεωμετρία η ράβδος φαίνεται υπό μεγαλύτερη από 1° γωνία στην δεδομένη απόσταση, ενώ με την

⁶ Η δυνατότητα ύπαρξης κάποιων τέτοιων (μεγάλου μεγέθους) κηλίδων στο χάρτη είναι υπαρκτή, αυτό όμως μπορεί να συμβεί από τύχη και δεν αποτελεί κανονικότητα.

ελλειπτική γεωμετρία η ράβδος φαίνεται υπό μικρότερη της 1° γωνία στην ίδια απόσταση. Με άλλα λόγια: η μόνη γεωμετρία όπου το μέγεθος, η απόσταση και η φαινομένη γωνία της πιο συχνής κηλίδας ταιριάζουν, είναι η Ευκλείδειος. Το Σύμπαν είναι επίπεδο και ισχύει το πυθαγόρειο θεώρημα. *Επομένως η CMB μας δίνει τη γεωμετρία του Σύμπαντος.*

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η γεωμετρία μέσω των εξισώσεων της Γενικής Θεωρίας Σχετικότητας, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την πυκνότητα ύλης-ενέργειας.

-Έτσι η σφαιρική γεωμετρία θα απαιτούσε **μεγαλύτερη** ενεργειακή πυκνότητα από την κρίσιμη, δηλ.

$$\Omega_0 = \rho_c c^2 / \rho_0 c^2 > \Omega_c = 1,$$

με άλλα λόγια για να ακολουθεί το Σύμπαν σφαιρική γεωμετρία θα έπρεπε να είχε μεγαλύτερη συνολική ύλη-ενέργεια απ' ότι υπολογίζεται ότι έχει.

-Ανάλογα η ελλειπτική γεωμετρία θα απαιτούσε **μικρότερη** ενεργειακή πυκνότητα από την κρίσιμη, δηλ.

$$\Omega_0 = \rho_c c^2 / \rho_0 c^2 < \Omega_c = 1,$$

με άλλα λόγια για να ακολουθεί το Σύμπαν ελλειπτική γεωμετρία θα έπρεπε να είχε μικρότερη συνολική ύλη-ενέργεια.

CMB ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Σύμφωνα με τη ΓΘΣ, της οποίας οι εξισώσεις πεδίου συνδυάζουν τη γεωμετρία με την ύλη-ενέργεια του Σύμπαντος, για να είναι το Σύμπαν επίπεδο (να ακολουθεί επίπεδη γεωμετρία) θα πρέπει να υπάρχει σ' αυτό μια συγκεκριμένη ποσότητα ύλης-ενέργειας.

Η ύλη σαν αυτή που βλέπουμε παντού γύρω μας, οι πλανήτες, οι αστέρες, οι μελανές οπές, οι αστέρες νετρονίων, το διαστρικό αέριο (ύλη), οι γαλαξίες και όλα όσα κάνουν αυτούς τους γαλαξίες να ακτινοβολούν στα διάφορα σημεία του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, αποτελούν τη λεγόμενη **βαρυονική ύλη**.⁷

Αν τώρα τα αθροίσουμε όλα αυτά καταλήγουμε σε ένα θλιβερά και απογοητευτικά μικρό αποτέλεσμα. Η βαρυονική ύλη του Σύμπαντος έχει μάζα (βλέπε [6], κεφ. 3^ο, σελ. 52):

$$M_{bm} = 8,663 \cdot 10^{55} \text{ gr}$$

και σε βαρυόνια: $M_{bm} = 8,663 \cdot 10^{55} \text{ gr} / 1,673 \cdot 10^{-24} = 5,160 \cdot 10^{79} = 10^{79,713}$
πρακτικώς είναι:

$$M_{bm} = 10^{80} \text{ βαρυόνια}$$

Αυτός ο αριθμός, όσο μεγάλος κι αν φαίνεται, αποτελεί μόνο το 4% (έως και 5%) της συγκεκριμένης ύλης-ενέργειας, που σύμφωνα με τη ΓΘΣ απαιτούνται ώστε το Σύμπαν να ακολουθεί επίπεδη γεωμετρία.⁸

Στη δεκαετία του 1970 ένα δεύτερο συστατικό του περιεχομένου του Σύμπαντος, που ονομάστηκε **σκοτεινή ύλη**, κάνει την εμφάνισή της στα θεωρητικά πεδία αλλά και παρατηρησιακά δεδομένα που απασχολούν την επιστημονική κοινότητα. Το συστατικό αυτό κάνει αισθητή την παρουσία του, όχι από την ακτινοβολία του, όπως η βαρυονική ύλη, για τον απλούστατο λόγο ότι δεν εκπέμπει ακτινοβολία. Η σκοτεινή ύλη ανιχνεύεται από τη βαρύτητα που ασκεί στο περιβάλλον της. Η ανίχνευση αυτή της σκοτεινής ύλης έγινε με διάφορες μεθόδους, όπως με τη βοήθεια των καμπυλών περιστροφής των εξωτερικών αστερών των γαλαξιών (*flat rotation curves*) αλλά και των βαρυτικών φακών (*gravitational lens*), [βλέπε [7] μέρος πρώτο, κεφ.1.3, σελ.15-24].

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι έδειξαν το ίδιο αποτέλεσμα, ότι η σκοτεινή ύλη είναι πέντε φορές περισσότερη από την συνήθη (βαρυονική) ύλη και αποτελεί ένα ποσοστό που

⁷ Η βαρυονική ύλη πήρε την ονομασία της από τα βαρυόνια (πρωτόνια και νετρόνια) από τα οποία αποτελείται.

⁸ Ακόμη κι αν δεχόμασταν ότι οι μετρήσεις μας περιέχουν σφάλμα, δεν θα ήταν δυνατόν να είμασταν τόσο μακριά στις εκτιμήσεις μας.

πλησιάζει το 28%. Η επιστημονική κοινότητα αναγκάζεται να συμπεριλάβει την σκοτεινή ύλη στα συστατικά του Σύμπαντος, παρότι δε γνωρίζει απολύτως τίποτε για την φύση και την προέλευσή της, γι' αυτό και της έδωσε την ονομασία «σκοτεινή» ύλη.

Αθροίζοντας τα ποσοστά των δύο συστατικών δεν ξεπερνούμε το 32% της ύλης-ενέργειας, που σύμφωνα με την ΓΘΣ είναι απαραίτητη για να είναι το Σύμπαν επίπεδο. Το άθροισμα των συστατικών του Σύμπαντος για ακόμα μια φορά μας απογοητεύει αφού υπολείπεται κατά πολύ της συγκεκριμένης ποσότητας ύλης-ενέργειας που απαιτείται.

Στα 1998 μια ομάδα φυσικών⁹, μελετώντας έναν συγκεκριμένο τύπο υπερκαινοφανών (SNe Ia), παρατηρούν ότι αυτοί φαίνεται να βρίσκονται πιο μακριά απ' όσο αναμενόταν με βάση τη θεωρητική πρόβλεψη του κοσμολογικού μοντέλου. (ΛCDM) Την απόκλιση αυτή της θεωρητικής πρόβλεψης της αποστάσεώς τους από την παρατηρούμενη θέση των μακρινών υπερκαινοφανών την απέδωσαν (λανθασμένα) στην επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος. Την επιτάχυνση αυτή της κοσμικής διαστολής (η οποία, θα πρέπει να τονισθεί, είναι πράγματι υπαρκτή και συμβαίνει στο Σύμπαν από το 5.000.000.000 έτος περίπου μέχρι και σήμερα) επίσης την απέδωσαν «αυθαίρετα» και «λανθασμένα» (όπως θα δούμε παρακάτω) στην κοσμολογική σταθερά Λ, που είχε εισαχθεί από τον Albert Einstein για να περιγράψει ένα «στατικό σύμπαν» και είχε προ πολλού εγκαταλειφθεί από τον ίδιο, ως το «μεγαλύτερο σφάλμα του». Αυτή η κοσμολογική σταθερά, πάλι αυθαίρετα, θεωρήθηκε ότι περιγράφει ένα παντελώς άγνωστο και εξωτικό ρευστό, αρνητικής μάλιστα πίεσεως, το οποίο ονομάστηκε **σκοτεινή ενέργεια**, αντανακλώνοντας στο όνομα αυτό την πλήρη άγνοια και αυθαιρεσία!⁹

Το χρονικό μιας πλάνης

Από τη στιγμή που ένα πραγματικό, παρατηρησιακώς επιβεβαιωμένο γεγονός, αυτό της επιταχυνόμενης διαστολής του Σύμπαντος, συνδέθηκε (λανθασμένα) με την επίσης επιβεβαιωμένη απόκλιση της πραγματικής θέσεως των υπερκαινοφανών από την θεωρητικώς αναμενόμενη τους θέση, ήταν πολύ εύκολη η «εκτροπή» στην πλάνη της σκοτεινής ενέργειας.

Συγκεκριμένα οι επιστήμονες περίμεναν να δουν τη διαστολή του Σύμπαντος να επιβραδύνεται με την πάροδο του χρόνου, κάτι που φάνταζε λογικό αφού η βαρύτητα της ύλης θα έπρεπε να επιβραδύνει αυτή τη διαστολή.

Αντίθετα όμως με αυτό που περίμεναν, το Σύμπαν, μετά τα 5 πρώτα δισεκατομμύρια έτη, αντί να επιβραδύνει άρχισε να επιταχύνει τη διαστολή.

Πώς ήταν δυνατό να συμβαίνει αυτό; Όλη η ύλη (βαρυονική και σκοτεινή) θα έπρεπε να επιβραδύνει τη διαστολή. Αφού έχουμε όμως επιτάχυνση κάτι νέο, κάτι αδιανόητο, που δεν είναι ύλη θα πρέπει να υπάρχει. Κάποια μορφή ενέργειας που να δρα «αντιβαρυτικά», απωθώντας τα πάντα μεταξύ τους.

Για να λύσουν το αδιέξοδο επινόησαν ένα άγνωστο και ακατανόητο, τρίτο, συστατικό του Σύμπαντος και το ονόμασαν «Σκοτεινή Ενέργεια».

Μπορεί να μην ήξεραν τι ακριβώς είναι η σκοτεινή ενέργεια, αλλά γνώριζαν πόση ακριβώς απ' αυτή πρέπει να έχουμε για να κάνουμε το Σύμπαν να επιταχύνει όσο φαίνεται να επιταχύνει.

Η εκπληκτική σύμπτωση ήταν ότι η ποσότητα που απαιτούνταν ήταν ακριβώς ίση με την ποσότητα ύλης-ενέργειας που έλλειπε για να είναι το Σύμπαν επίπεδο.

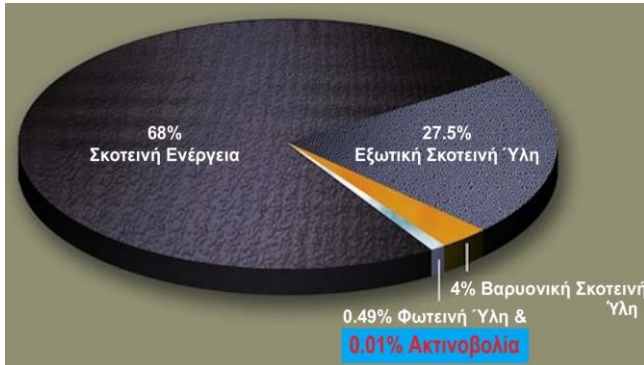
Έτσι με τη σωστή ποσότητα σκοτεινής ενέργειας, 68%, μπορούσαν να κάνουν το Σύμπαν να επιταχύνει όσο φαίνεται να επιταχύνει και ταυτόχρονα να κάνουν το Σύμπαν επίπεδο, όπως φαίνονταν ότι είναι.

Η πλάνη είχε ολοκληρωθεί!!!

⁹ Συγκεκριμένα οι S. Perlmutter, B. Schmidt, και A. Reiss παρατήρησαν ότι το φως των μακρινών υπερκαινοφανών έρχονταν στα τηλεσκόπιά τους πιο εξασθενημένο, απ' ότι θεωρητικά προβλέπονταν από το μοντέλο ΛCDM και έτσι, συνδυάζοντας την λαμπρότητα με την απόσταση, παρατήρησαν στο διάγραμμα Hubble την ύπαρξη μιας απόκλισης της θεωρητικής πρόβλεψης της αποστάσεώς τους από την παρατηρούμενη θέση τους. Για την ανακάλυψή της επιταχυνόμενης κοσμικής διαστολής, οι τρεις επιστήμονες βραβεύτηκαν με το βραβείο Nobel φυσικής το έτος 2011. Η εξήγηση όμως που δόθηκε για την επιταχυνόμενη διαστολή, στηριζόμενη στην εξασθένηση του φωτός των μακρινών υπερκαινοφανών, ήταν, φυσικώς ελλιπής. (βλέπε πολυτροπικό μοντέλο)

Το ποσοστό 68% του νέου συστατικού «βόλεψε» τους εμπνευστές του διότι ικανοποιούσε και το ποσοστό που έλλειπε για να «καλυφθεί» η πλασματική (όπως θα δούμε παρακάτω ότι είναι) απόκλιση που είχε παρατηρηθεί μεταξύ θεωρητικής (Λ CDM) πρόβλεψης και παρατήρησης των αποστάσεων των υπερκαινοφανών, ενώ ταυτόχρονα συμπλήρωνε μαζί με τα ποσοστά των άλλων δύο συστατικών τη συνολική ποσότητα ύλης-ενέργειας που απαιτούνταν για τη χωρική επιπεδότητα του Σύμπαντος.

Όλα τα παραπάνω οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα να καταλήξει στο εδώ και 30 χρόνια γενικώς αποδεκτό κοσμολογικό πρότυπο με την ονομασία Λ CDM, η οποία υποδηλώνει ότι το Σύμπαν αποτελείται από ψυχρή σκοτεινή κυρίως ύλη¹⁰ (28%) με μια μικρή πρόσμιξη βαρυονικής ύλης (4%), ενώ κυριαρχεί η αρνητικής πίεσεως σκοτεινή



Εικόνα 9: Τα συστατικά του Σύμπαντος σύμφωνα με το μοντέλο Λ CDM. Το 4% στην «πίτα» αποτελεί την βαρυονική ύλη όπως π.χ. των μελανών οπών, που δεν είναι ορατή, ενώ το 0,49% είναι η ορατή βαρυονική ύλη (αστέρες, πλανήτες, νεφελώματα)

ενέργεια (68%), που περιγράφεται από την κοσμολογική σταθερά Λ .¹¹

Το μοντέλο Λ CDM αρχικά σημείωσε μερικές επιτυχίες ερμηνεύοντας με τον έναν ή τον άλλο τρόπο κοσμολογικές παρατηρήσεις, δημιούργησε όμως περισσότερα προβλήματα απ' όσα έλυσε και περισσότερα ερωτηματικά απ' όσα απάντησε. Έτσι το μοντέλο κυριάρχησε και συνεχίζει να είναι αποδεκτό από μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας μέχρι πρόσφατα.

Τον Αύγουστο του 2022 όμως, στο παγκόσμιο κοσμολογικό συνέδριο της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης (IAUGA-International Astronomic Union General Assembly) [24], [25], στους αντικειμενικούς σκοπούς του συνεδρίου αναγράφονταν ότι:

“... το μοντέλο Λ CDM δεν περιγράφει επαρκώς την πραγματική φύση του Σύμπαντός μας, προτρέπεται δε στην επιστημονική κοινότητα, μέχρι να διευκρινιστεί πλήρως, να μην προχωρεί πλέον σε επεκτάσεις του μοντέλου μέσω εννοιών όπως, η σκοτεινή ενέργεια, η τροποποιημένη βαρύτητα, τα νετρίνο μεγάλης μάζας κλπ, ώστε με κριτικό και ορθολογικό τρόπο να καταλήξουμε σε ένα πρότυπο πλήρως αποδεκτό.”

Δέκα χρόνια νωρίτερα, στα 2011, οι καθηγητές Ν. Σπύρου και Κ. Κλεϊδης είχαν δώσει τη λύση με μια σειρά διεθνών δημοσιεύσεων (βλέπε [18], [19], [20], [21], [22], [23]) σχετικά με το τρίτο συστατικό, που απαιτείται για την χωρική επιπεδότητα του Σύμπαντος την οποία επέβαλε η ανακάλυψη της CMB.

Η λύση αυτή, απλή, βασισμένη στην κλασσική φυσική, στην θερμοδυναμική και στη ΓΘΣ, ήρθε για να απαντήσει σε όλα τα ερωτήματα και να λύσει όλα τα προβλήματα που δημιούργησε η αυθαίρετη θεώρηση της ύπαρξης της σκοτεινής ενέργειας.

Συγκεκριμένα, με την προθήκη της σκοτεινής ύλης,¹² οι γαλαξίες έχουν πλέον πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις από εκείνες που μέχρι τώρα μετρούσαμε υπολογίζοντας σ' αυτούς ως μόνο συστατικό την βαρυονική ύλη. Έτσι βρίσκονται πολύ πιο κοντά ο ένας στον άλλον, σχεδόν σε επαφή μεταξύ τους.

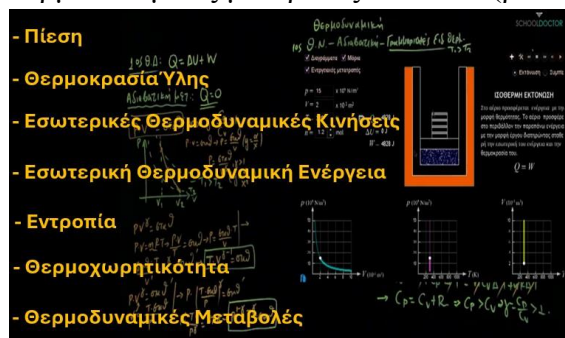
¹⁰ CDM: Cold Dark Matter (ψυχρή σκοτεινή ύλη)

¹¹ Σημαντική παράλειψη είναι ότι σύμφωνα με το μοντέλο Λ CDM το περιεχόμενο του κοσμικού ρευστού αποτελείται **μόνον από πυκνότητα μάζας** και κανένα άλλο φυσικό συστατικό. Σαν να ισχυριζόμαστε ότι για την περιγραφή του αέρα ενός δωματίου αρκεί να λάβουμε υπ' όψη μόνο την πυκνότητα μάζας των μορίων του αέρα, παραβλέποντας τα λοιπά θερμοδυναμικά του χαρακτηριστικά, όπως η πίεση, η θερμοχωρητικότητα, η εντροπία, η εσωτερική θερμοδυναμική ενέργεια, οι εσωτερικές θερμοδυναμικές κινήσεις κ.α.

¹² Του δεύτερου συστατικού του Σύμπαντος, του οποίου η αναγκαιότητα δεν αμφισβητείται.

Το Σύμπαν, με του γαλαξίες πιο κοντά, δεν πρέπει να θεωρείται πια ως κενός χώρος, αντίθετα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μια συνεχής κατανομή ύλης-ενέργειας, δηλαδή σαν ένα συνεχές βαρυτικό μέσο στο πλαίσιο ενός πολυτροπικού ρευστού σκοτεινής κυρίως ύλης¹³ με συγκρούσεις και θερμοδυναμικό περιεχόμενο, τα συστατικά του οποίου αλληλεπιδρούν με αποτέλεσμα η ενέργειά τους να εξαπλώνεται.¹⁴

Πέραν της μάζας ηρεμίας (πυκνότητας μάζας) το πολυτροπικό κοσμικό ρευστό χαρακτηρίζεται επίσης και απ' όλα τα συνήθη συμβατικά εσωτερικά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά όπως: η πίεση, η θερμοκρασία ύλης, οι εσωτερικές θερμοδυναμικές κινήσεις, η εσωτερική θερμοδυναμική ενέργεια, η εντροπία, η θερμοχωρητικότητα, οι θερμοδυναμικές μεταβολές και άλλα (βλ. Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Τα εσωτερικά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του βαρυτικού κοσμικού ρευστού που μέχρι τώρα είχαν αγνοηθεί με αποτέλεσμα την ελλειμματική θεώρηση του μοντέλου Λ CDM που οδήγησε στην λανθασμένη εισαγωγή της Σκοτεινής Ενέργειας

Τα χαρακτηριστικά αυτά είχαν μέχρι τώρα αγνοηθεί με αποτέλεσμα «κάτι να λείπει» από τα συστατικά του Σύμπαντος. Αυτό το κάτι δημιούργησε το «έλλειμμα» το οποίο δεν υπολογίζονταν στα θεωρητικά δεδομένα, ώστε η θεωρητική πρόβλεψη της θέσεως των μακρινών υπερκαινοφανών (SNe Ia) να δίδεται «εγγύτερον» της πραγματικής θέσεως την οποία παρατηρούσαμε στα τηλεσκόπια.

Προέκυψε λοιπόν (λανθασμένα) αυτή η απόκλιση της θεωρητικά προβλεπόμενης από την παρατηρούμενη απόσταση των υπερκαινοφανών, όπως κατά συνέπεια επίσης λανθασμένα προέκυψε και η

ανάγκη της αυθαίρετης προσθήκης της σκοτεινής ενέργειας στα συστατικά του κοσμικού ρευστού (Σύμπαντος).

Αν λοιπόν δεν αγνοηθούν, αλλά ληφθούν υπ' όψιν, τα εσωτερικά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά, η απόκλιση αυτή εξαφανίζεται όπως εξαφανίζεται και η ανάγκη για την προσθήκη της σκοτεινής ενέργειας του Σύμπαντος, αφού το 68% που λείπει, για να ακολουθεί το Σύμπαν επίπεδη γεωμετρία, αποκαθίσταται από την ενέργεια των εσωτερικών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του θεωρούμενου πλέον λόγω της προσθήκης της σκοτεινής ύλης στα συστατικά του, πολυτροπικού κοσμικού ρευστού.

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανακάλυψη της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων υποβάθρου (CMB), της θεωρίας των Κλεΐδη και Σπύρου, αλλά και της πρότασης του IAUGA για αναθεώρηση του μοντέλου Λ CDM, το Σύμπαν είναι επίπεδο (ακολουθεί επίπεδη γεωμετρία) και αποτελείται από 4% βαρυονική και 28% σκοτεινή ύλη. Το υπόλοιπο 68% των συστατικών του είναι η ενέργεια των εσωτερικών θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του, αφού το Σύμπαν, αποτελούμενο από τα δύο αναφερθέντα συστατικά, καθίσταται πλέον ένα πολυτροπικό κοσμικό ρευστό με θερμοδυναμικό περιεχόμενο και συγκρούσεις.

Όχι άδικα λοιπόν, η Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων Υποβάθρου θεωρήθηκε ως μια από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις του 20^{ου} αιώνα.

Ιωάννης Χρ. Αγαπάκης
Θεσσαλονίκη 20 Αυγούστου 2024

¹³ Με μια μικρή πρόσμιξη βαρυονικής ύλης.

¹⁴ Οι παρατηρούμενες κινήσεις μέσα σ' ένα τέτοιο κοσμικό ρευστό δεν είναι πλέον οι μέχρι τώρα αποδεκτές γεωδαισιακές κινήσεις γαλαξιών, αλλά οι υδροδυναμικές ροές του ρευστού.

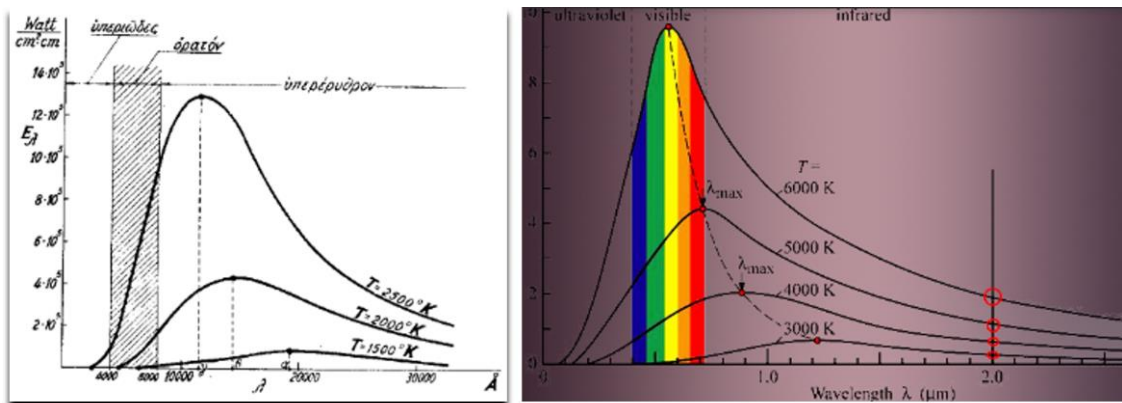
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

(Ακτινοβολία Μελανού Σώματος)

Ο όρος¹⁵ **μέλαν σώμα** στη φυσική, περιγράφει ένα ιδανικό σώμα, το οποίο απορροφά όλο το φως που προσπίπτει πάνω του (και κατ' επέκταση, όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία). Αυτό σημαίνει ότι ένα τέτοιο σώμα δεν ανακλά ούτε διαχέει το προσπίπτον σε αυτό φως (ή άλλης μορφής ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) ούτε αφήνει το φως να το διαπεράσει. Γι' αυτές του τις ιδιότητες ονομάζεται «μέλαν» σώμα.

Ωστόσο, σε αντίθεση με την εικόνα που δίνεται από την ονομασία του, το ίδιο το σώμα εκπέμπει κάποια ακτινοβολία, το φάσμα της οποίας εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία του. Το μέλαν σώμα αποτελεί ένα εξιδανικευμένο μοντέλο της ύλης, που επινοήθηκε για να διευκολυνθεί η μελέτη της *θερμικής ακτινοβολίας* των πραγματικών σωμάτων, αυτή δε η μελέτη της ακτινοβολίας του έπαιξε μεγάλο ρόλο στη ανάπτυξη της κβαντομηχανικής.

Γενικά, ένα οποιοδήποτε σώμα, σε κάποια μη μηδενική θερμοκρασία, εκπέμπει ακτινοβολία. Αν είναι τέλει μέλαν σώμα, ο *συντελεστής εκπομπής*¹⁶ του θα είναι ίσος με την μονάδα, ενώ για κάθε πραγματικό σώμα ο συντελεστής αυτός είναι μικρότερος από την μονάδα. Έτσι, το μέλαν σώμα αποτελεί ένα «όριο» το οποίο μπορούν να προσεγγίσουν τα φυσικά σώματα. Ο συντελεστής εκπομπής ενός σώματος μεταβάλλεται με την θερμοκρασία, την γωνία εκπομπής και το εξεταζόμενο μήκος κύματος.



Εικόνα 11: (Αριστερά) Γράφημα της κατανομής της έντασης της ΗΜ ακτινοβολίας ανά μονάδα μήκους κύματος σε διάφορες θερμοκρασίες. Στη θερμοκρασία κοντά στα 1000 K, το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας εκπέμπεται σε μια στενή περιοχή με "αιχμή" κάποιο μήκος κύματος $\lambda_{\max}$ στο υπέρυθρο, ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες το $\lambda_{\max}$ μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος, μεγαλύτερες συχνότητες. (Δεξιά) Στη θερμοκρασία των 6000 K, που επικρατεί στην επιφάνεια του Ηλίου το $\lambda_{\max}$ είναι στην περιοχή του ορατού φωτός, συγκεκριμένα στην περιοχή του κίτρινου, γεγονός που εξηγεί και το κίτρινο φως του Ηλίου.

Ακτινοβολία Μέλανος Σώματος

Η ακτινοβολία μέλανος σώματος είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ΗΜ), την οποία εκπέμπουν τα σώματα όταν θερμανθούν ($T > 0$), από όπου και ο χαρακτηρισμός της ως θερμική ακτινοβολία. Στην ιδανική της μορφή η ακτινοβολία μέλανος σώματος εκπέμπεται από σώματα ικανά να απορροφήσουν ΗΜ σε όλα τα μήκη κύματος οπότε θα έχουν μαύρο (μέλαν) χρώμα. Στην πράξη όλα τα στερεά σώματα, όταν θερμανθούν σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, εκπέμπουν ορατή ΗΜ ακτινοβολία, της οποίας η κατανομή στις διάφορες συχνότητες έχει τη μορφή της Εικόνας 11. (βλ. [5], Μέρος Α)

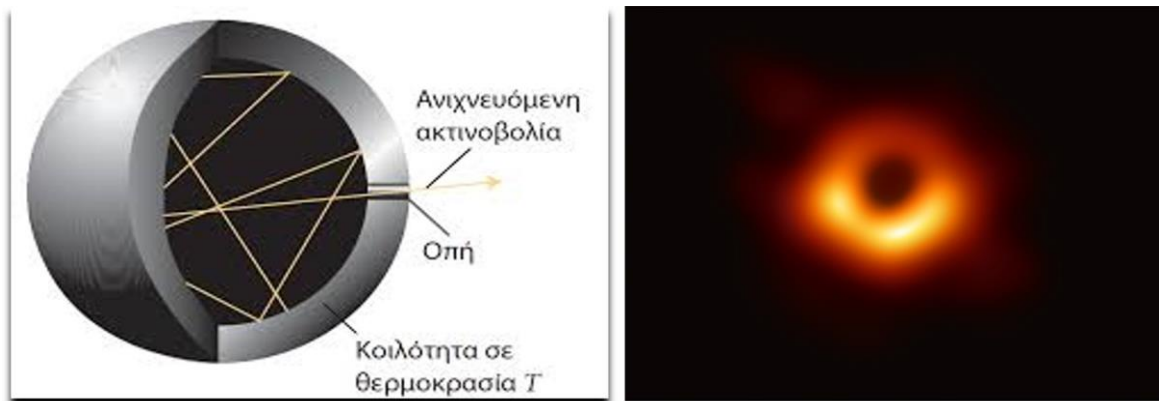
¹⁵ Εισήχθη από τον Γκούσταβ Ρόμπερτ Κίρχοφ (Gustav Robert Kirchhoff) το 1860.

¹⁶ Ως συντελεστής εκπομπής ενός σώματος ορίζεται ο λόγος της ακτινοβολούμενης ενέργειας από το σώμα σε σχέση με την ακτινοβολούμενη ενέργεια ενός μελανού σώματος που βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία.

Όπως είπαμε το μέλαν σώμα, σ' οποιαδήποτε θερμοκρασία κι αν βρίσκεται, εκπέμπει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σ' όλο το φάσμα της. Το μεγαλύτερο όμως τμήμα της ενέργειας που εκπέμπεται μ' αυτό τον τρόπο περιορίζεται σε μια στενή περιοχή, με "αιχμή" κάποιο μήκος κύματος (λ_{max}) διαφορετικό για κάθε θερμοκρασία. Σε θερμοκρασίες γύρω στους 1000 K το μέλαν σώμα εκπέμπει κυρίως στην υπέρυθρη περιοχή, ενώ σε ψηλότερες θερμοκρασίες το λ_{max} μετατοπίζεται σε μικρότερα μήκη κύματος - μεγαλύτερες συχνότητες, στην περιοχή του ορατού. (βλ. Εικόνα 7 Αριστερά). Στην δεξιά εικόνα 7 παρατηρούμε ότι σε θερμοκρασίες γύρω στους 6000 K το μέλαν σώμα εκπέμπει (σύμφωνα με την καμπύλη των 6000 K) κυρίως στην περιοχή του ορατού φωτός. Αυτό το περιμέναμε αφού γνωρίζουμε ότι το μέλαν σώμα «*Ήλιος*» έχει εξωτερική θερμοκρασία 5800 K. Η ακτινοβολία που εκπέμπει ο Ήλιος είναι αυτή που τα μάτια μας προσαρμόστηκαν (με τη διαδικασία της εξέλιξης) να βλέπουν, δηλαδή το ορατό φως.

Ακτινοβολία κοιλότητας

Το φυσικό αντικείμενο που προσεγγίζει περισσότερο ένα μέλαν σώμα, δεν είναι καν σώμα, αλλά μια μικρή οπή σε ένα κοίλο σώμα (όπως π.χ. η είσοδος μιας σπηλιάς). Το φως που μπαίνει μέσα στην κοιλότητα από την οπή ανακλάται πολλές φορές πάνω στα τοιχώματά της και κάθε φορά ένα μέρος του απορροφάται από αυτά. (Εικόνα 8 Αριστερά). Αν η οπή εισόδου είναι αρκετά μικρή σε σχέση με την κοιλότητα, τότε η πιθανότητα για ένα τμήμα της ακτινοβολίας, που μπήκε μέσα στην κοιλότητα από την οπή, να ξαναβγεί από αυτήν είναι πολύ μικρή. Αυτό σημαίνει ότι μόνο ένα πολύ μικρό μέρος από το προσπίπτον φως «ανακλάται» από την οπή, ενώ το υπόλοιπο έχει απορροφηθεί. Αυτό συμβαίνει ανεξάρτητα από το υλικό των τοιχωμάτων και το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, διότι, καθώς τα στερεά σώματα έχουν συνεχές φάσμα εκπομπής και απορρόφησης, όλα τα μήκη κύματος σταδιακά θα απορροφηθούν. Δεδομένου ότι το φως που παίρνουμε πίσω είναι αμελητέο, η μόνη ακτινοβολία που θα παίρνουμε από την οπή είναι η «*θερμική ακτινοβολία*» που παράγεται στο εσωτερικό της κοιλότητας και εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία της, υπό την προϋπόθεση ότι αυτή βρίσκεται σε θερμική ισορροπία.



Εικόνα 12: (Αριστερά) Αναπαράσταση μέλανος σώματος από ένα κοίλο σώμα. Το φως που μπαίνει μέσα στην κοιλότητα από την οπή ανακλάται πολλές φορές πάνω στα τοιχώματά της και κάθε φορά ένα μέρος του απορροφάται από αυτά. (Δεξιά) Η πρώτη ληφθείσα φωτογραφία μελανής οπής. Μία μελανή οπή θεωρείται το «απόλυτο» μέλαν σώμα, καθώς τίποτα δεν ξεφεύγει από αυτήν όταν περάσει τον ορίζοντα γεγονότων της.

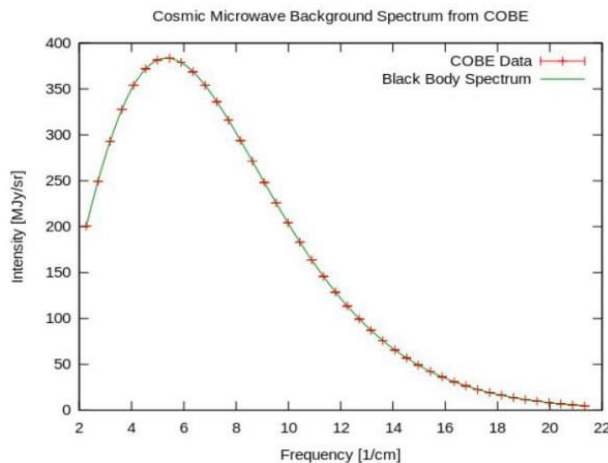
Τέλος αφού, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, μέλαν σώμα στη φυσική θεωρείται το σώμα που απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό, θα μπορούσαμε αβίαστα να ισχυριστούμε ότι μία μελανή οπή είναι το «απόλυτο» μέλαν σώμα στο Σύμπαν, εφόσον η μελανή οπή απορροφά όλο το φως που πέφτει πάνω της, όπως και οτιδήποτε άλλο (Εικόνα 12 Δεξιά). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο τρόπος με τον

οποίο μια μαύρη τρύπα απορροφά φως, δεν έχει τίποτα να κάνει με τον τρόπο που ένα στερεό σώμα απορροφά φως. Μια άλλη σημαντική διαφορά ενός μέλανος σώματος και της μελανής οπής είναι ότι εφόσον τίποτα δεν είναι δυνατόν να διαφύγει από το βαρυτικό της πεδίο, δεν πρέπει ούτε και να εκπέμπει οποιαδήποτε ακτινοβολία. Ωστόσο το 1974 ο Στήβεν Χώκινγκ (Stephen Hawking), χρησιμοποιώντας την κβαντική θεωρία πεδίου σε καμπύλο χωροχρόνο, έδειξε ότι πρέπει να εκπέμπεται θερμική ακτινοβολία (βλέπε [3] κεφ.8, σελ. 198-204 και [4], κεφ.7.1, σελ.78-83).

Το Μέλαν Σώμα και η Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων Υποβάθρου

Μια άλλη ομοιότητα του μελανού σώματος όπως αυτή με την μελανή οπή είναι με το Σύμπαν της εποχής πριν το 380.000 έτος, πριν την πρώτη εκπομπή της CMB. Στην περίοδο εκείνη η ακτινοβολία ήταν συζευγμένη με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια με τα οποία βρισκόταν σε θερμική ισορροπία, σκεδαζόταν συνέχεια στην ionισμένη ύλη, όπως σκεδάζεται η ακτινοβολία που εισέρχεται από τη μικροσκοπική οπή στην κοιλότητα του ανάλογου του μέλανος σώματος στην Εικόνα 12 (Αριστερά).

Η κοσμική ακτινοβολία μικροκυμάτων είναι διάχυτη και δεν αφορά (πλέον) κανένα συγκεκριμένο σώμα, επομένως θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι δεν γίνεται να θεωρηθεί ότι αποτελεί ακτινοβολία μέλανος σώματος. Παρόλα αυτά το φάσμα της παρουσιάζει εκπληκτική συμφωνία με τον νόμο της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος.



Εικόνα 13: Στη γραφική παράσταση της έντασης της ακτινοβολίας ως προς τον αριθμό των κυμάτων ανά εκατοστό, η γκρι συνεχής γραμμή είναι η κατανομή φάσματος του μέλανος σώματος θερμοκρασίας 2,7 K. Τα κόκκινα σταυρουδάκια είναι τα 34 σημεία, από τα δεδομένα του δορυφόρου COBE για την CMB. Η ταύτιση είναι εκπληκτική!

Πρόκειται για την πιο τέλεια προσέγγιση που έχει καταγραφεί ποτέ. Στην Εικόνα 13 φαίνεται αυτή η ταύτιση.

Συγκεκριμένα στη γραφική παράσταση της έντασης της ακτινοβολίας ως προς τον αριθμό των κυμάτων ανά εκατοστό που παρουσιάζεται στην εικόνα, η συμφωνία των πειραματικών μετρήσεων της αποστολής COBE με την θεωρία του μέλανος σώματος είναι τέτοια ώστε, τα 34 σημεία, από τα δεδομένα του δορυφόρου, που τοποθετήθηκαν, καλύφθηκαν ακριβώς από την καμπύλη που προβλέπει η θεωρία του μέλανος σώματος, και τα διαστήματα λάθους ήταν τόσο μικρά που δεν ξεπερνούν το πάχος της γραμμής. Τα δεδομένα δείχνουν ότι το 99,97% της ακτινοβολίας υποβάθρου απελευθερώθηκε μέσα στον πρώτο χρόνο από την στιγμή της μεγάλης έκρηξης, και αντιστοιχούν ακριβώς στο φάσμα μελανού σώματος θερμοκρασίας 2,7°K.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

(Ανάλυση του Φάσματος Ισχύος)

Το φάσμα ισχύος ή η φασματική πυκνότητα ισχύος (Power Spectral Density-PSD), είναι μια θεμελιώδης έννοια στην επεξεργασία σήματος και στην ανάλυση χρονοσειρών. Περιγράφει την κατανομή ισχύος (ή διακύμανσης) ενός σήματος ή χρονοσειράς ως συνάρτηση της συχνότητας. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο συχνότητας ενός σήματος και επιτρέπει την αναγνώριση των κυρίαρχων συχνοτήτων που υπάρχουν στο σήμα. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην ανάλυση περιοδικών ή οιονεί (εν δυνάμει) περιοδικών σημάτων, καθώς και στη μελέτη θορύβου και τυχαίων διεργασιών.



Εικόνα 14: Φάσμα ισχύος (καλλιτεχνική απεικόνιση)

Μαθηματικά, το φάσμα ισχύος ορίζεται ως ο μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης του σήματος. Αντιπροσωπεύει την κατανομή της ισχύος του σήματος στις διάφορες συνιστώσες συχνότητας. Υπολογίζεται λαμβάνοντας τον μετασχηματισμό Fourier του σήματος ή της χρονοσειράς και στη συνέχεια υπολογίζοντας το τετράγωνο μέγεθος των συντελεστών Fourier. Αυτό αποδίδει την κατανομή της ισχύος στον τομέα συχνοτήτων. Απεικονίζεται συνήθως ως συνάρτηση της συχνότητας, με τον κατακόρυφο άξονα να

αντιπροσωπεύει την ισχύ ή την ενέργεια του σήματος σε κάθε συχνότητα.

Το φάσμα ισχύος χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς, όπως:

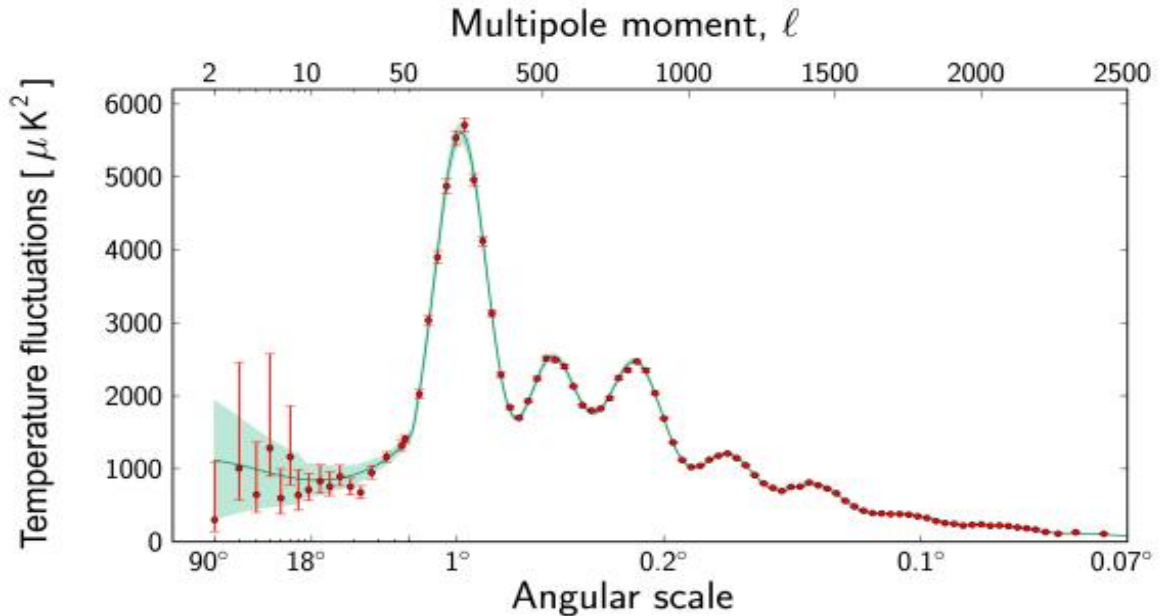
- *Επεξεργασία σήματος*: Με την ανάλυση του περιεχομένου συχνότητας των σημάτων, την ανίχνευση περιοδικοτήτων και την αναγνώριση των κυρίαρχων συχνοτήτων.
- *Ανάλυση κραδασμών*: Με τον προσδιορισμό των συχνοτήτων στις οποίες τα μηχανήματα ή οι κατασκευές αντιμετωπίζουν σημαντικούς κραδασμούς, που μπορεί να είναι σημαντικοί για το σχεδιασμό, τη συντήρηση και τον εντοπισμό σφαλμάτων.
- *Ακουστική και μηχανική ήχου*: Με τη μελέτη του περιεχομένου συχνότητας των σημάτων ήχου, τον σχεδιασμό φίλτρων και την ανάλυση ακουστικής δωματίου.
- *Συστήματα επικοινωνίας*: Με την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών συχνότητας των καναλιών επικοινωνίας και τον σχεδιασμό αποτελεσματικών τεχνικών διαμόρφωσης και φιλτραρίσματος.
- *Γεωφυσική*: Με την ανάλυση των σεισμικών δεδομένων και την αναγνώριση των χαρακτηριστικών συχνοτήτων γεωλογικών σχηματισμών.
- *Αστροφυσική - Κοσμολογία*: Με τη μελέτη του περιεχομένου συχνότητας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ουράνια αντικείμενα για την κατανόηση των υποκείμενων φυσικών διεργασιών.

Ας δούμε τώρα το φάσμα ισχύος της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων υποβάθρου (CMB) καθώς και τις πληροφορίες που λαμβάνουμε από αυτό.

Όταν κοιτάμε το κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων, όπως έχουμε αναφέρει, ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του είναι ότι συμπεριφέρεται ως ένα θερμικό μέλαν σώμα. Σε όλες τις διαφορετικές κατευθύνσεις, έχει θερμοκρασία 2,7 K. Ενώ όμως η CMB είναι εξαιρετικά ομοιόμορφη σε θερμοκρασία, δεν είναι απόλυτα ομοιόμορφη. Υπάρχουν πολύ μικρές διακυμάνσεις, αυτές που όπως είπαμε χαρτογραφήθηκαν λεπτομερώς από τους δορυφόρους COBE, WMAP και Planck.

Αυτές οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία είναι σαν κυματισμοί στην κοσμική λίμνη. Παρατηρώντας αυτούς τους κυματισμούς μπορούμε να προσδιορίσουμε τι συνέβαινε στο νεαρό Σύμπαν, κάτι που με τη σειρά του μας λέει πράγματα για το Σύμπαν σήμερα.

Η μελέτη του φάσματος ισχύος είναι ένας τρόπος να παρατηρήσουμε τις διακυμάνσεις (κυματισμούς) στη θερμοκρασία, κοιτάζοντας τις κλίμακες στις οποίες συμβαίνουν αυτές οι διακυμάνσεις.



Εικόνα 15: Το γράφημα του φάσματος ισχύος της CMB. Στον άνω οριζόντιο άξονα μετράται η Πολυπολική Ροπή (ℓ), ενώ στον κάτω η φαινόμενη γωνία σε μοίρες των διακυμάνσεων (κηλίδων). Στην καμπύλη του γραφήματος διακρίνουμε τρεις κορυφές. Η πρώτη από αριστερά (μεγαλύτερη) καθορίζει τη γεωμετρία του Σύμπαντος, η δεύτερη την ποσότητα της βαρυονικής και η τρίτη την ποσότητα της σκοτεινής ύλης.

Στην Εικόνα 15, στο γράφημα του φάσματος ισχύος, η ποσότητα των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας (σε microkelvin) απεικονίζεται σε σχέση με αυτό που είναι γνωστό ως πολυπολική ροπή (ℓ), που είναι ένα μέτρο της κλίμακας διακύμανσης.¹⁷

Στο γράφημα του φάσματος ισχύος των διακυμάνσεων CMB, παρατηρούμε τρεις κύριες κορυφές. Μια μεγάλη πρώτη κορυφή, ακολουθούμενη από δύο μικρότερες πριν η καμπύλη «σβήσει» σε μια σειρά από μικρές διακυμάνσεις. (βλ. Εικόνα 15)

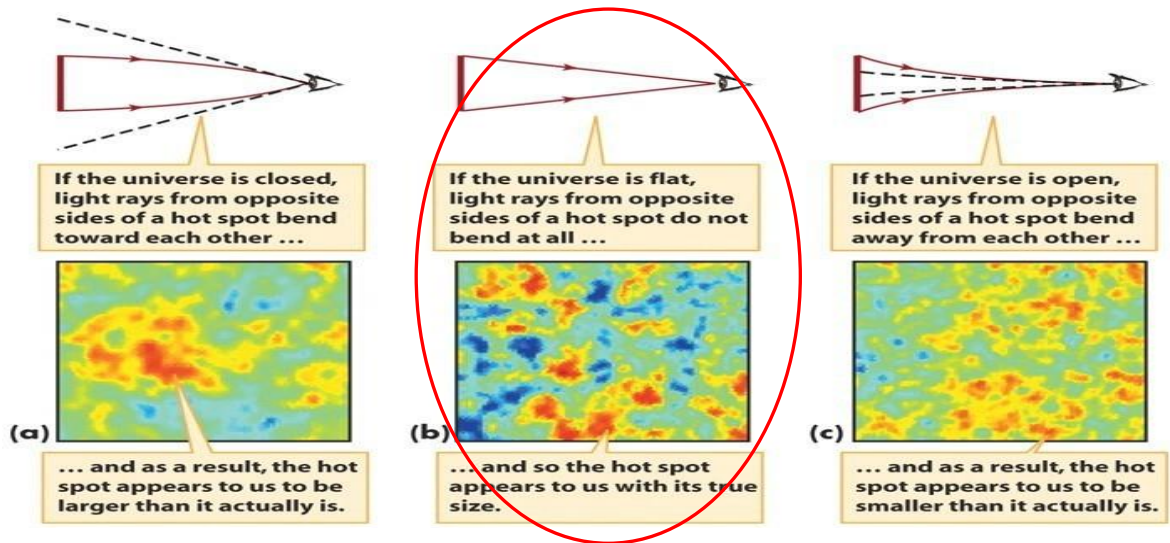
Αυτές οι τρεις κορυφές είναι που δίνουν τις πληροφορίες για μια σαφή εικόνα του Σύμπαντος. [12]

Η πρώτη κορυφή καθορίζει την Καμπυλότητα

Η πρώτη κορυφή δίνει τις πληροφορίες του πόσο επίπεδο ή καμπύλο είναι το Σύμπαν στο σύνολό του. [2]

Δεδομένου ότι το κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων προέρχεται από την πιο μακρινή άκρη του ορατού σύμπαντος, το φως του μπορεί να παραμορφώνεται από την κοσμική καμπυλότητα. Εάν το Σύμπαν είναι επίπεδο τότε οι διακυμάνσεις (κηλίδες) που παρατηρούμε θα φαίνονται χωρίς παραμόρφωση. Εάν είναι θετικά κυρτό (σφαιρικό), τότε οι κηλίδες θα φαίνονται μεγεθυνόμενες λόγω της κοσμικής καμπυλότητας. Τέλος αν το Σύμπαν είναι αρνητικά κυρτό (όπως η επιφάνεια μιας σέλας), τότε οι διακυμάνσεις θα φαίνονται μικρότερες. (βλ. Εικόνα 16)

¹⁷ Αυτό λειτουργεί ως εξής: Αρχικά λαμβάνουμε τη συνολική μέση θερμοκρασία ολόκληρου του ουρανού, μετά χωρίζουμε τον ουρανό σε δύο περιοχές και παίρνουμε τον μέσο όρο κάθε τμήματος. Κατόπιν διαχωρίζουμε και πάλι το κάθε τμήμα σε δύο περιοχές, παίρνουμε ξανά τον μέσο όρο και ούτω καθεξής. Αν συνεχίσουμε να το κάνετε αυτό θα έχουμε μια «μέση» θερμοκρασία σε κάθε υψηλότερη πολυπολική κλίμακα.



Εικόνα 16: Η κλίμακα των διακυμάνσεων (κηλίδων) εξαρτάται από την γεωμετρία (καμπυλότητα) του Σύμπαντος. Από την ανάλυση των χαρτών που ελήφθησαν από τα δεδομένα των δορυφόρων WMAP και Planck, η εικόνα που προέκυψε για το μέγεθος των κηλίδων ταιριάζει περισσότερο στην (b), γεγονός που αποδεικνύει ότι το Σύμπαν ακολουθεί επίπεδη γεωμετρία, μηδενικής καμπυλότητας.

Πηγή: Smoot Cosmology Group

Στην καμπύλη του φάσματος ισχύος, εάν το Σύμπαν ήταν θετικά καμπυλωμένο τότε η πρώτη κορυφή θα έπρεπε να ήταν περισσότερο προς τα αριστερά στο γράφημα, ενώ αν ήταν αρνητικά καμπυλωμένο περισσότερο προς τα δεξιά.

Αυτό που βρίσκουμε με τη μελέτη του φάσματος ισχύος είναι: ότι η πρώτη κορυφή βρίσκεται περίπου στο σημείο $\ell = 200$, όπως φαίνεται στην άνω οριζόντια κλίμακα της Εικόνας 15, που είναι η τιμή για φαινομένη γωνία 1° (βλέπε κάτω οριζόντια κλίμακα στο γράφημα της Εικόνας 15) που καθορίζει ένα επίπεδο Σύμπαν.¹⁸

Η δεύτερη κορυφή καθορίζει το ποσοστό της Βαρυονικής Ύλης

Η δεύτερη κορυφή μας λέει για την ποσότητα της βαρυονικής ύλης στο Σύμπαν.

Οι αρχικές μικρές διακυμάνσεις (υψηλότερης θερμοκρασίας) στο Σύμπαν, υποδηλώνουν μικρές αρχικές συγκεντρώσεις ύλης. Με την πάροδο του χρόνου η ύλη θα τείνει να συσσωρεύεται βαρυτικά προς αυτές τις διακυμάνσεις της υψηλότερης θερμοκρασίας (υψηλότερης πυκνότητας), οι οποίες θα τείνουν ολοένα να ενισχύονται.

Καθώς συσσωρεύεται η βαρυονική ύλη (το είδος της ύλης που αλληλεπιδρά με το φως) θα τείνει επίσης να θερμαίνεται και η προκύπτουσα πίεση θα έχει την τάση να πιέζει την ύλη που συσσωρεύεται. Έτσι, όσο περισσότερη βαρυονική ύλη έχουμε, τόσο περισσότερη ώθηση θα λαμβάνουμε. Αυτό σημαίνει ότι όσο περισσότερη βαρυονική ύλη υπάρχει στο Σύμπαν, τόσο περισσότερο θα αποσβένεται η δεύτερη κορυφή και με άλλα λόγια, όσο μικρότερη είναι η δεύτερη κορυφή, τόσο περισσότερη η βαρυονική ύλη στο Σύμπαν.

Με αυτά τα δεδομένα διαπιστώνουμε ότι η βαρυονική ύλη αποτελεί περίπου το 4% της ύλης-ενέργειας του Σύμπαντος.

Η τρίτη κορυφή καθορίζει το ποσοστό της Σκοτεινής Ύλης

Η τρίτη κορυφή είναι ένας δείκτης της σκοτεινής ύλης στο Σύμπαν.

Η σκοτεινή ύλη συσσωρεύεται βαρυτικά όπως η βαρυονική, αλλά επειδή δεν αλληλεπιδρά έντονα με το φως, δεν επηρεάζεται από την πίεση του φωτός εναντίον της. Έτσι, καθώς η συσσώρευση βαρυονικής ύλης βιώνει μια ώθηση, στη συσσώρευση σκοτεινής ύλης δεν συμβαίνει το ίδιο. Έτσι, το ύψος της τρίτης κορυφής μας δίνει ένα μέτρο για το πόση

¹⁸ Βλέπε αναλυτικά στη σελίδα 8 του παρόντος για το πείραμα τριγωνομετρίας που καθόρισε την γωνία αυτή.

σκοτεινή ύλη υπήρχε σε σύγκριση με τη συνολική ποσότητα φωτός στο πρώιμο Σύμπαν (αυτό που είναι γνωστό ως λόγος ύλης/ακτινοβολίας). Δεδομένου ότι γνωρίζουμε ότι το φως σχετίζεται μόνο με τη βαρυονική ύλη, η αναλογία ύλης/ακτινοβολίας μας λέει την ποσότητα της σκοτεινής ύλης στο Σύμπαν.

Από αυτό διαπιστώνουμε ότι η σκοτεινή ύλη αποτελεί περίπου το 28% της ύλης-ενέργειας του Σύμπαντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Aaronson Steve (January 1979) «*The Light of Creation: An Interview with Arno A. Penzias and Robert W. Wilson*». Bell Laboratories Record: 12–18.
- [2] de Bernardis P. et al. [BOOMERanG Collaboration] (2000) «*A Flat Universe from High-Resolution Maps of the CMB*». Nature 404, 955-959.
- [3] Σπύρου Ν. Κ. (1989) «*Εισαγωγή στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας*» Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- [4] Αγαπάκης Ι. Χρ. (2019) «*Μελανές Οπές*» Εκδόσεις Copy City Publish, Θεσσαλονίκη.
- [5] Τραχανάς Στ. (2005) «*Κβαντομηχανική Ι*», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- [6] Σπύρου Ν. Κ. (2023) «*Αρχή και Τέλος του Σύμπαντος...σήμερα και από πολύ παλιά*» Εκδόσεις Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Αθήνα.
- [7] Αγαπάκης Ι. Χρ. (2024) «*Σκοτεινή Ενέργεια: η Σκιώδης Αντανάκλαση της Σκοτεινής Υλης*» Εκδόσεις Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Αθήνα.
- [8] Jaffe A. H. et al. [BOOMERanG Collaboration] (2001) «*Cosmology from MAXIMA-1, BOOMERANG and COBE DMR cosmic microwave background observations*». Phys. Rev. Lett., 86, 3475-3479.
- [9] Borriello, A. Salucci, P. (2001) «*The dark matter distribution in disc galaxies*». MNRAS, 323, 285 - 292.
- [10] Padin S. et al. [CBI Collaboration] (2001) «*First Intrinsic Anisotropy Observations with the Cosmic Background Imager*». Astrophys. J. 549, L1 – L5.
- [11] Stompor R. et al. [MAXIMA Collaboration] (2001) «*Cosmological Implications of the MAXIMA-1 high-resolution Cosmic Microwave Background Anisotropy Measurements*». Astrophys. J. 561, L7 – L10.
- [12] Netterfield C. B. et al. [BOOMERanG Collaboration] (2002) «*A Measurement by BOOMERANG of Multiple Peaks in the Angular Power Spectrum of the Cosmic Microwave Background*». Astrophys. J. 571, 604 – 614.
- [13] Spergel D. N. et al. [WMAP Collaboration] (2003) «*First-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Determination of Cosmological Parameters*». Astrophys. J. Suppl. Series, 148, 175-194.
- [14] Spergel D. N. et al. [WMAP Collaboration] (2007) «*Three-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Implications for Cosmology Parameters*». Astrophys. J. Suppl. Series, 170, 377-408.
- [15] Komatsu E. et al. [WMAP Collaboration] (2009) «*Five-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Cosmological Interpretation*». Astrophys. J. Suppl. Series, 180, 330-376.

- [16] Komatsu E. et al. [WMAP Collaboration] (2011) «*Seven-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Cosmological Interpretation*». *Astrophys. J. Suppl. Series*, 192, A18.
- [17] Hinshaw G. et al. [WMAP Collaboration] (2013) «*Nine-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: Cosmological Parameter Results*». *Astrophys. J. Suppl. Series*, 208, A19.
- [18] Kleidis K., Spyrou N. K. (2023) «*The Dark Energy as a Natural Property of Cosmic Polytropes – A tutorial*». *Review Article, Dynamics*, 3(1), 71-95.
- [19] Kleidis K., Spyrou N. K. (2022) «*Polytropic Dark Matter Fluid: an Occam's Razor Approach to the Dark Energy Concept*». K. Kleidis and N. K. Spyrou, In *Proceedings of the XXXI Assembly of the IAU, Astronomy Focus Meeting 3*, Espinosa J. (ed.) Cambridge University Press.
- [20] Kleidis K., Spyrou N. K. (2017) «*Cosmological Perturbations in the Λ CDM-like limit of a Polytropic Dark Matter Model*». *A&A*, 606, A116.
- [21] Kleidis K., Spyrou N. K. (2016) «*Dark Energy: The Shadowy Reflection of Dark Matter*». *Invited Review in Entropy*, 18, 94, doi:10.3390/e18030094.
- [22] Kleidis K., Spyrou N. K. (2015) «*Polytropic Dark Matter Flows Illuminate Dark Energy and Accelerated Expansion*». *A&A*, 576, A23.
- [23] Kleidis K., Spyrou N. K. (2011) «*A Conventional Approach to the Dark Energy Concept*». *A&A*, 529, A26.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- [24] <https://www.iauga2022.org/>
- [25] <https://busan2021fm3.lam.fr/>
- [26] https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_density
- [27] https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_microwave_background