


## Κοσμικές ακτίνες


Χάρτης της κοσμικής ακτινοβολίας Γ, ενέργειας άνω των 100 MeV. Ο Γαλαξίας παρουσιάζεται σαν φωτεινή ζώνη, με το κέντρο του στη μέση.

»Καταρράκτης« σωματιδίων που προέρχονται από την είσοδο μιας κοσμικής ακτίνας υψηλής ενέργειας στην ατμόσφαιρα, σε ύψος 20 km.

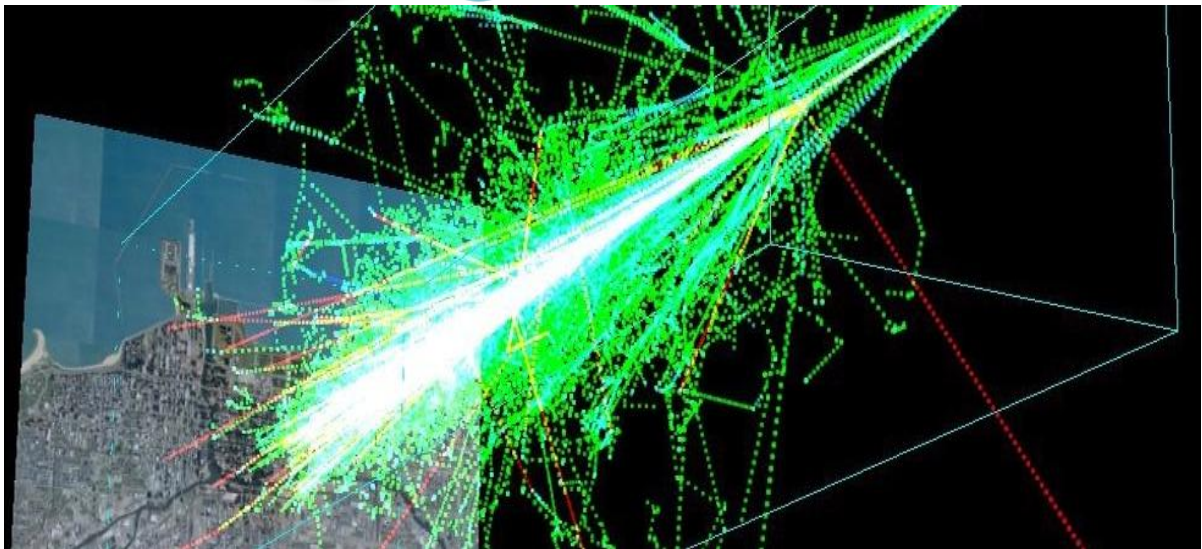


1

 Οι κοσμικές ακτίνες ή κοσμική ακτινοβολία είναι μία κατηγορία ακτινοβολίας που αποτελείται από σωματίδια υψηλών ενεργειών τα οποία παράγονται σε κάποιο μέρος του Σύμπαντος μακριά από τη Γη και προσκρούουν στην ατμόσφαιρα της Γης με ανιχνεύσιμα αποτελέσματα. Μία από τις κύριες πηγές, ίσως και μοναδική, των κοσμικών ακτίνων είναι οι υπερκαινοφανείς αστέρες, οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα την έκληση τεραστίων ποσοτήτων ενεργειών.

 Οι κοσμικές ακτίνες αποτελούνται κυρίως από ατομικούς πυρήνες, δηλαδή θετικά ηλεκτρικώς φορτισμένα σωματίδια, με αναλογία 87% πρωτόνια, 12% σωματίδια άλφα (πυρήνες ηλίου) και λίγους βαρύτερους πυρήνες (οι σχετικές περιεκτικότητες είναι συγκρίσιμες με τις ηλιακές). Ωστόσο, ένα μικρό ποσοστό των κοσμικών ακτίνων είναι ακτίνες γ (φωτόνια) πολύ υψηλών ενεργειών, ηλεκτρόνια και νετρίνα.





2

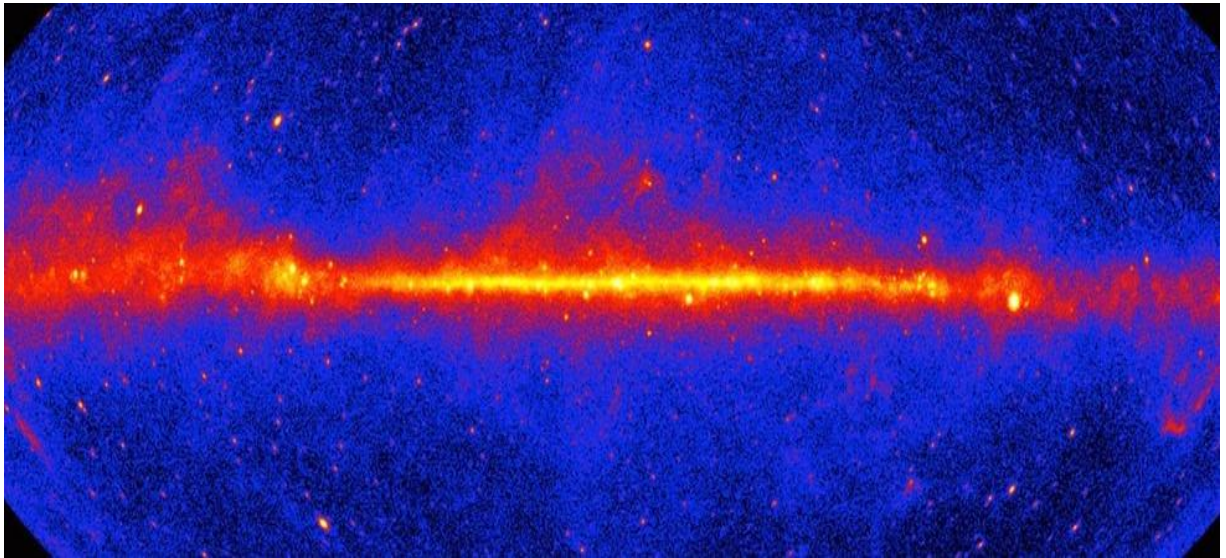
Οι κινητικές ενέργειες των σωματίων των κοσμικών ακτίνων εκτείνονται σε 14 τάξεις μεγέθους, με τη ροή (αριθμός σωματίων ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου) στην περιοχή της Γης να είναι αντιστρόφως ανάλογη του κύβου της ενέργειάς τους. Η μεγάλη αυτή διαφορά στις ενέργειες υποδεικνύει τη μεγάλη ποικιλία των πηγών της κοσμικής ακτινοβολίας: Οι διαδικασίες παραγωγής εκτείνονται από αστρικά φαινόμενα μέχρι μυστηριώδεις διαδικασίες υψηλών ενεργειών στα βάθη του Σύμπαντος. Μία κοσμική ακτίνα (1 σωματίο) μπορεί να φθάσει σε ενέργεια τα 10<sup>20</sup> eV (δηλαδή 50 Joules, η ενέργεια μιας μπάλας του τένις που κινείται με 151 km/h). Καμία μηχανή (επιταχυντής) κατασκευασμένη από τον άνθρωπο στη Γη, προς το παρόν, δεν μπορεί να επιταχύνει κάποιο σωματίο σε τόσο υψηλές ενέργειες.

### **Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων – ΚΑΜ**

**Απόσπασμα από το βιβλίο του Ε. Ν. Οικονόμου: «Από τα κουάρκ μέχρι το Σύμπαν», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης**

(...) Στο τέλος της δεκαετίας του 1920, ο μεγάλος αμερικανός αστρονόμος Hubble διαπίστωσε ότι όλοι οι μακρινοί γαλαξίες απομακρύνονται από τη Γη με ταχύτητα που είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η απόστασή τους από τη Γη. Μ' άλλα λόγια, ο Hubble διαπίστωσε ότι το σύμπαν διαστέλλεται.





3

Ο ίδιος ο χώρος διαστέλλεται παρασύροντας μαζί τους και τη μάζα του Σύμπαντος. Είναι σαν όλο το Σύμπαν να βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια ενός μπαλονιού που φουσκώνει συνεχώς καθώς ο χρόνος κυλάει.

Η ειρωνεία του θέματος ήταν ότι η αρχική μορφή των εξισώσεων του Einstein – χωρίς την κοσμολογική σταθερά – προέβλεπε μια τέτοια διαστολή του Σύμπαντος, όπως απέδειξαν πρώτοι οι Friedmann και Lemaitre. Έσπευσε, λοιπόν, ο Einstein να αποκαθάρει τις εξισώσεις του από το «μίσμα» της κοσμολογικής σταθεράς, αποκαλώντας την προσθήκη της «τη μεγαλύτερη επιστημονική γκάφα της ζωής μου».

Αυτή η αξιοσημείωτη σύμπτωση των συμπερασμάτων της ΓΘΣ και των αστρονομικών παρατηρήσεων του Hubble δημιούργησε σε κάποιους φυσικούς – πολύ λίγους είναι αλήθεια – την ελπίδα ότι η ιστορία του Σύμπαντος είναι προσιτή στην Επιστήμη.

Ετσι προχώρησαν σιγά – σιγά στην ιδέα ότι ένα διαστελλόμενο Σύμπαν θα γίνεται αραιότερο και ψυχρότερο στο μέλλον στο μέλλον και θα ήταν όλο πυκνότερο, συμπαγέστερο και θερμότερο στο παρελθόν, μέχρι κάποια στιγμή στο απώτατο παρελθόν, όπου όλος ο χώρος και μαζί του όλη η μάζα του θα ήταν συγκεντρωμένη στο ίδιο «σημείο» (όλο το «μπαλόνι» θα είχε συρρικνωθεί σε ένα «σημείο»), η πυκνότητά του και η θερμοκρασία του θα ήταν άπειρα υψηλές και οι διαστάσεις του απίστευτα μικρές.





4

Αυτό το χρονικό σημείο θα ήταν κατά κάποιο τρόπο η απαρχή του Σύμπαντος και από κει και πέρα ότι ακολουθεί είναι μια απίστευτα γρήγορη διαστολή, κάτι σαν έκρηξη, το μεγάλο Bang (Big Bang) που φυσικά συνεχίζεται, ως διαστολή, και στις μέρες μας. Αυτό ακριβώς το μοντέλο προέκυπτε αβίαστα από τις εξισώσεις του Einstein, όπως έδειξαν οι Friedmann και Lemaitre, και εύρισκε στήριξη από τις παρατηρήσεις του Hubble.

Έχοντας, λοιπόν, σε γενικές γραμμές αυτό το μοντέλο για τη θερμοκρασία, την πυκνότητα και το μέγεθος του Σύμπαντος (όπως προκύπτει από τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας) μπορεί κανείς να κατασκευάσει – πράγμα που έγινε – ένα κατά το δυνατόν λεπτομερές σενάριο για την εξέλιξή του, χρησιμοποιώντας τους γνωστούς νόμους της Φυσικής.

Το σενάριο προβλέπει πότε και σε ποια αναλογία δημιουργήθηκαν τα νετρόνια και τα πρωτόνια από τα κουάρκ, πότε τα νετρόνια και τα πρωτόνια συνενώθηκαν για να φτιάξουν κάποιους μικρούς πυρήνες (π.χ. πυρήνες του στοιχείου ηλίου με δυο πρωτόνια και δυο νετρόνια), πως οι υπόλοιποι πυρήνες φτιάχτηκαν μέσα στα άστρα ή κατά τον εκρηκτικό τους θάνατο, πως οι διάφοροι πυρήνες παγίδευσαν ηλεκτρόνια για να φτιάξουν άτομα, πότε δημιουργήθηκαν τα άστρα και οι γαλαξίες, κλπ.

Δεν απομένει παρά να μελετήσει κανείς τι προβλέπει αυτό το κάπως λεπτομερές σενάριο για σήμερα ώστε να δούμε αν οι αστρονομικές παρατηρήσεις το επιβεβαιώνουν, το απορρίπτουν ή οδηγούν στην ενδεχόμενη αποδοχή τους με κάποιες ίσως σημαντικές τροποποιήσεις.

Το σενάριο προβλέπει, π.χ., ότι η κατά βάρος αναλογία υδρογόνου προς ήλιο στο Σύμπαν είναι περίπου 3 προς 1 με τα άλλα στοιχεία να αποτελούν ένα πολύ – πολύ μικρό ποσοστό.



Αυτή η πρόβλεψη είναι σε συμφωνία με τις παρατηρήσεις. Παρόλη αυτή και κάποιες άλλες επιτυχίες, η επιστημονική κοινότητα παρέμεινε ιδιαίτερα επιφυλακτική στο να αποδεχθεί το Big Bang ως φυσική πραγματικότητα. Έμοιαζε περισσότερο με μεταφυσική υπόθεση παρά με ελέγξιμη φυσική θεωρία. Αυτό μέχρι το 1965 και την τυχαία ανακάλυψη της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων (ΚΑΜ). Τι είναι όμως η ΚΑΜ;



5

Το σενάριο του Big Bang, όπως είχαν επισημάνει ήδη από το 1948 οι Gamow, Alpher και Hermann προέβλεπε ότι στο πρώιμο Σύμπαν, λόγω της πολύ υψηλής θερμοκρασίας, υπήρχε ακτινοβολία που όμως ήταν παγιδευμένη στην ύλη του Σύμπαντος, η οποία ήταν ιονισμένη λόγω της πολύ υψηλής θερμοκρασίας.

Σε κάποιο χρονικό σημείο, που σήμερα το υπολογίζουμε στα 380 χιλιάδες χρόνια μετά το οριακό σημείο μηδέν της Μεγάλης Έκρηξης, καθώς το Σύμπαν ψυχόταν αυτή η κοσμική ακτινοβολία απελευθερώθηκε από την ύλη (λόγω του ότι η τελευταία έπαψε να είναι ιονισμένη) και ακολούθησε (η κοσμική ακτινοβολία) το δικό της δρόμο, τη δική της εξέλιξη, τις λεπτομέρειες της οποίας προβλέπει το σενάριο.

Προβλέπει, δηλαδή, το σενάριο ποια είναι η ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και ποια είναι η κατανομή της στις διάφορες φασματικές περιοχές





6

### Οι Arno A. Penzias και Robert Wilson μπροστά από την κεραία με την οποία ανακάλυψαν την Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων

Υπήρχε όμως τόση δυσπιστία και για το μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης και για το λεπτομερές σενάριο που βασίζεται σ' αυτό, ώστε η πρόβλεψη του Gamow, Alpher και Hermann να αγνοηθεί σχεδόν πλήρως και έτσι να μην επιχειρηθεί καν ο έλεγχος αυτής της τόσο σημαντικής ιδέας (παρά μόνο όταν ήταν ήδη αργά), μέχρις ότου σε δυο φυσικούς του εργαστηρίου Bell των ΗΠΑ, τους Penzias και Wilson, ειδικούς στη ραδιοαστρονομία, δόθηκε η ευκαιρία να χρησιμοποιήσουν μια μεγάλη χωνοειδή αντένα του εργαστηρίου για να μελετήσουν γαλαξίες που εκπέμπουν ραδιοκύματα.

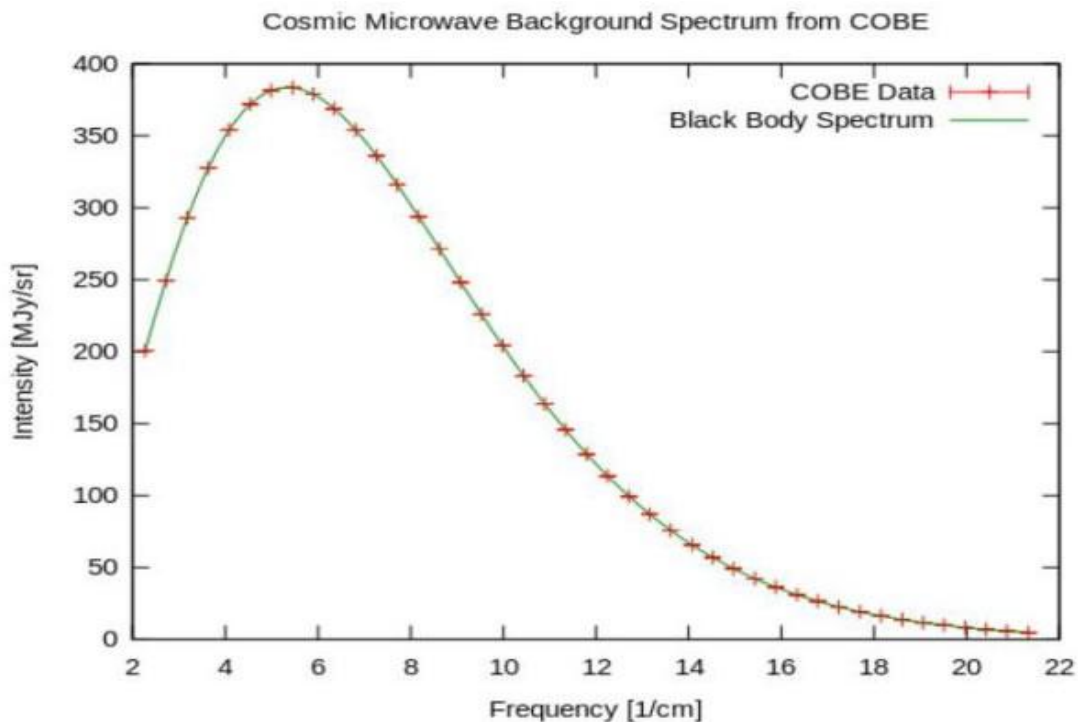
Η αντένα αυτή είχε κατασκευαστεί για άλλο πρακτικό τηλεπικοινωνιακό σκοπό, ο οποίος στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε. Οι δυο φυσικοί στην προετοιμασία για τις μετρήσεις τους αντιμετώπισαν ένα τεχνικό, όπως νόμισαν, πρόβλημα.

Η αντένα τους εμφάνιζε παράσιτα από τα οποία, παρόλες τις προσπάθειές τους, δεν μπόρεσαν να απαλλαγούν.

Εξέτασαν μήπως η Νέα Υόρκη με τις ποικίλες δραστηριότητές της ήταν η αιτία των παρασίτων. Απηλλάγησαν και από τη «λευκή διηλεκτρική ουσία», δηλαδή τις κουτσουλές δυο περιστεριών που είχαν κτίσει τη φωλιά τους μέσα στην αντένα. Αλλά τίποτε. Τα παράσιτα παρέμεναν.



Τελικά αποδείχθη ότι αυτά τα «παράσιτα» δεν ήταν τίποτε άλλο παρά η αρχέγονη κοσμική ακτινοβολία, το αρχαιότερο απομεινάρι από τη Δημιουργία του Κόσμου.



7

Φασματική κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων. Το διάγραμμα παριστάνει τη λαμπρότητα ως συνάρτηση του μήκους κύματος της κοσμικής ακτινοβολίας μικροκυμάτων.

Τα πειραματικά σημεία προέρχονται από τις μετρήσεις του ειδικού φασματομέτρου του δορυφόρου COBE (Cosmic Background Explorer), που εκτοξεύτηκε το Νοέμβριο του 1989. Η συνεχής καμπύλη (κατανομή ακτινοβολίας μέλανος σώματος) αποτελεί τη θεωρητική πρόβλεψη, με βάση τη κβαντική θεωρία, που αποδίδει στο φως και σωματιδιακές ιδιότητες. Η μοναδική ελεύθερη παράμετρος στη θεωρία, που καθορίζει και το σχήμα και το μέγεθος της καμπύλης, είναι η θερμοκρασία  $T$ .

Στην προκειμένη περίπτωση  $T = 2,725 \text{ K}$ , σε συμφωνία με το ισχύον κοσμολογικό μοντέλο. Η εντυπωσιακή αυτή σύμπτωση των παρατηρησιακών δεδομένων (που αφορούν το Σύμπαν και την Ιστορία του με τα πιο θεμελιακά αποτελέσματα δημιουργεί συγκλονιστικά αισθήματα δέους και θαυμασμού για την εμβέλεια της επιστημονικής μεθοδολογίας και τη δύναμη της ανθρώπινης διάνοιας.


Μ' άλλα λόγια, τα «παράσιτα», από τα οποία προσπαθούσαν να απαλλαγούν, αποδείχθη ότι αποτελούσαν την σημαντικότερη ίσως παρατηρησιακή ανακάλυψη στην Ιστορία της Επιστήμης. Όταν αυτή η κοσμική ακτινοβολία μετρήθηκε πολύ πιο προσεκτικά από ειδικό



δορυφόρο, (τα αποτελέσματα ανακοινώθηκαν το 1992), η σύμπτωση του θεωρητικού σεναρίου της μεγάλης έκρηξης και των δεδομένων της παρατήρησης ήταν τόσο εντυπωσιακή ώστε το Big Bang αντιμετωπίστηκε πια, όχι ως μια μεταφυσική υπόθεση, αλλά ως μια σοβαρή επιστημονική θεωρία..



8

 Η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης έπρεπε να περάσει μια ακόμη σημαντική δοκιμασία. Η ύπαρξη των γαλαξιών και των άστρων συνεπάγεται ότι στο πρώιμο Σύμπαν η πυκνότητα της ύλης δεν μπορεί να ήταν απολύτως ομοιόμορφη παντού. Κάποιες, έστω και μικρές αυξημένες συγκεντρώσεις της ύλης δεν μπορεί να ήταν απολύτως ομοιόμορφη παντού.

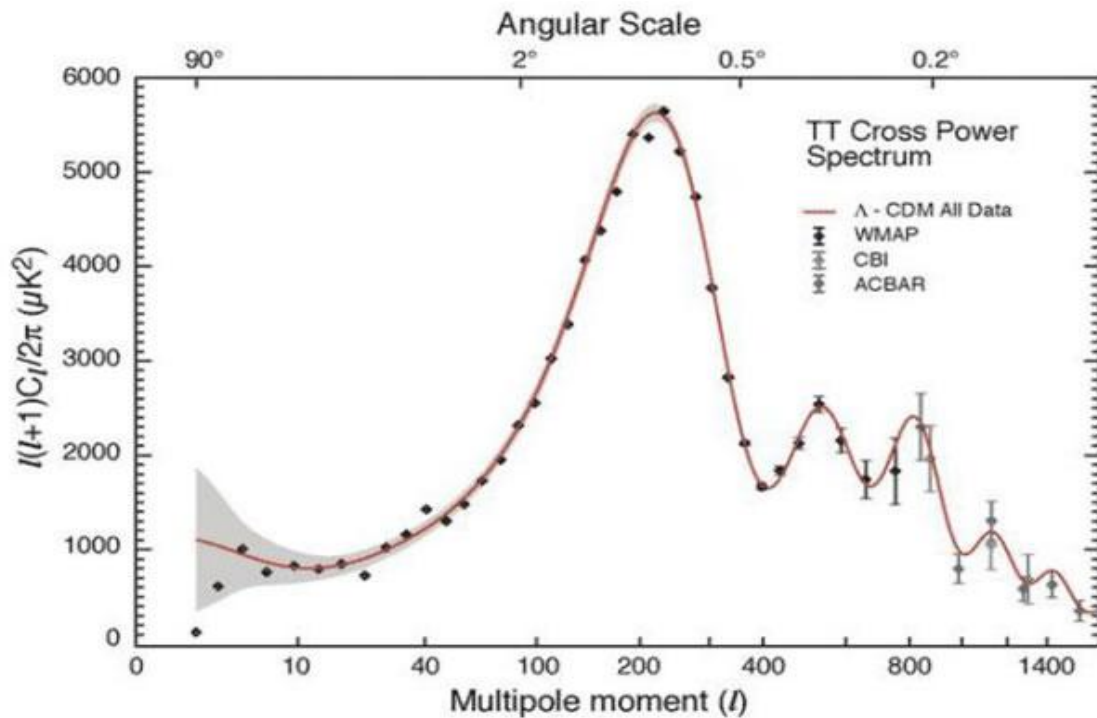
Κάποιες, έστω και μικρές αυξημένες συγκεντρώσεις ύλης έπρεπε να υπάρχουν για να αποτελέσουν το σπέρμα της δημιουργίας των γαλαξιών.

Όμως αυτές οι αυξομειώσεις όφειλαν να αποτυπωθούν στην Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων, ως μικρές διαφορές ανάλογα με την κατεύθυνση απ' όπου έρχεται αυτή η κοσμική ακτινοβολία.

Οι δορυφορικές παρατηρήσεις που ανακοινώθηκαν το 1992 επιβεβαίωσαν για πρώτη φορά την ύπαρξη αυτών των μικροδιαφορών στην Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων.







9

Το 2003 ανακοινώθηκαν τα πρώτα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν, μέσω του δορυφόρου WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), πολύ πιο λεπτομερείς μετρήσεις, οι οποίες προσδιόρισαν σε ποσοτικό επίπεδο το πως το μέγεθος των μικροδιακυμάνσεων στην Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου εξαρτάται από την κατεύθυνση παρατήρησης και από το γωνιακό άνοιγμα του οργάνου παρατήρησης.

Η συμφωνία των δεδομένων αυτών με τις προβλέψεις με τις προβλέψεις του σεναρίου της Μεγάλης Έκρηξης όχι μόνο επιβεβαίωσε την ύπαρξη μικρομεταβολών στην πυκνότητα του Σύμπαντος κατά την πρώτη, «νηπιακή» φάση της εξέλιξής του, πριν η ακτινοβολία αποσυνδεθεί από την ύλη, αλλά μας επέτρεψε να προσδιορίσουμε και τη φύση αυτών των μικροδιακυμάνσεων της πυκνότητας.

Διαπιστώθηκε δηλαδή ότι κατά την εξέλιξη του πρώιμου Σύμπαντος, η ύλη/ενέργειά του παλλόταν από ακουστικά κύματα ενός βασικού μήκους κύματος (της βασικής αρμονικής) και των υποπολλαπλασίων του (με άλλα λόγια των ανώτερων αρμονικών), που αφενός μεν αποτέλεσαν τις περιοχές συμπύκνωσης της ύλης ώστε να δώσουν αργότερα τους γαλαξίες και αφετέρου αποτυπώθηκαν στην Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου.

Έτσι η Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων έχει «γραμμένη» μέσα της την αρχέγονη κοσμική «μουσική», με τη βασική «νότα» της και τις αρμονικές της, που δονούσαν το αδιαμόρφωτο ακόμη Σύμπαν και καθόρισαν τη μετέπειτα δομή του. Και ο ανθρώπινος πολιτισμός μπορεί πια να «αφουγκραστεί» τον απόηχο αυτής της αρχέγονης κοσμικής




«μουσικής».

Φαντάζομαι ότι οι Πυθαγόρειοι θα ήσαν ευτυχείς να δουν ότι η ιδέα τους για την ακουστική αρμονία των πλανητών, επανέρχεται στο προσκήνιο, όχι βέβαια στο επίπεδο των πλανητών, αλλά ως ακουστική αρμονία του νεογέννητου Σύμπαντος από την οποία ξεπήδησαν οι γαλαξίες, τα άστρα, οι πλανήτες, και – σε τελική ανάλυση – και οι ίδιοι οι Πυθαγόρειοι. (...)



10

 Ε. Ν. Οικονόμου: «Από τα κουάρκ μέχρι το Σύμπαν», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης

