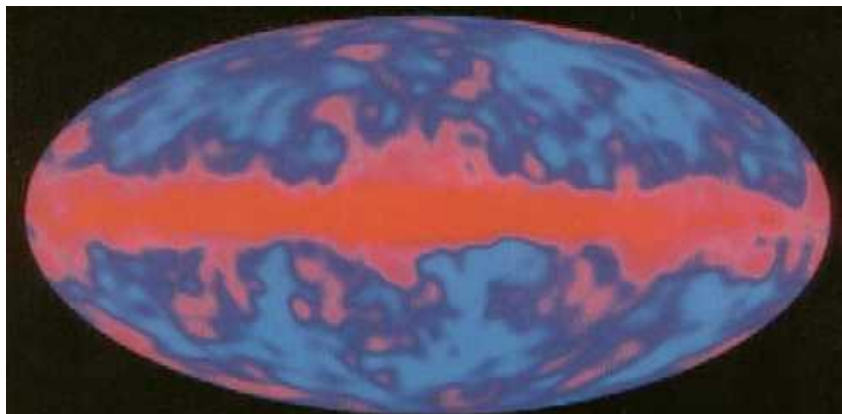


Η μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου

Περιεχόμενα Σελίδας:

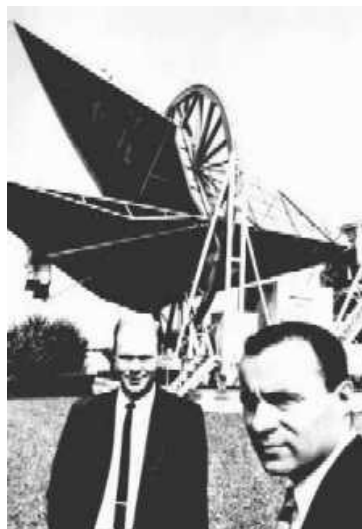
1. [Εισαγωγή](#)
2. [Από τους HUBBLE και GAMOW στους PENZIAS και WILSON](#)
3. [Από την κεραία του HOLMDEL στα ραδιό-μετρα του COBE](#)
4. [Μελλοντικά σχέδια](#)

Εισαγωγή



Η χαρτογράφηση των ανισοτροπιών στην ακτινοβολία υποβάθρου του ουρανού των 2.74 Kelvin από τον δορυφόρο COBE. Αυτά τα κοσμικά σχήματα στον ουρανό πιθανόν να είναι κατάλοιπα από την εποχή των 10^{-32} sec μετά τη Μεγάλη Εκρηξη. Ο χάρτης δείχνει όλη την ουράνια σφαίρα. Ο Γαλαξίας μας είναι η κόκκινη λωρίδα που διέρχεται οριζόντια από το μέσο. Οι γαλάξιες και ροζ περιοχές είναι ελαφρά θερμότερες και ψυχρότερες από το μέσο όρο, περίπου 1 μέρος στα 90.000. Η εικόνα είναι το άθροισμα παρατηρήσεων του COBE στα 53 και 90 GHz και αντιστοιχεί σε χωρική διακριτική ικανότητα 100. Ακόμα και οι μικρότερες ανομοιογένειες, μικροδιακυμάνσεις, είναι πολύ μεγάλες για να έχουν παίξει οποιοδήποτε ρόλο στη διαμόρφωση του Σύμπαντος που βλέπουμε σήμερα. Οι μικροδιακυμάνσεις πιστεύεται πως αποτελούν τα "σπέρματα" του σχηματισμού των σημερινών δομών του σύμπαντος.

Λίγες επιστημονικές ανακαλύψεις αυτού του αιώνα μπορούν να συγκριθούν σε σπουδαιότητα με την παρατήρηση της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου, μιας διάχυτης ακτινοβολίας μικροκυμάτων που κατακλύζει ολόκληρο το Σύμπαν και θεωρείται ότι είναι το σημερινό υπόλειμμα από την υπέρθερμη αρχέγονη Μεγάλη Εκρηξη που δημιούργησε την ύλη, το χώρο και το χρόνο, περίπου 12-15 δισεκατομμύρια χρόνια πριν.



Οι Penzias-Wilson μπροστά στην κωνική κεραία του Holmdel New Jersey, με την οποία ανακάλυψαν το 1964 τη διάχυτη ακτινοβολία υπβάθρου στο Σύμπαν.

Σήμερα, 35 χρόνια από την ανακάλυψή της από τους Αμερικανούς ραδιοαστρονόμους Arno Penzias και Robert Wilson των Bell Telephone Laboratories, ίσως έχει παύσει πια να εντυπωσιάζει όσο παλαιότερα - παρόλο που συνεχίζει να αποτελεί το κλειδί όλων των σύγχρονων κοσμολογικών θεωριών .

Ωστόσο, θα έπρεπε κανείς να αναλογιστεί ότι μόλις λίγα χρόνια πριν από την ανακοίνωση των Penzias και Wilson το Μάιο του 1965, συζητήσεις σχετικά με τη δημιουργία του Σύμπαντος θεωρούντο "φιλοσοφικές" και αταίριαστες για επιστήμονες. Τώρα οι αστρονόμοι, στηριζόμενοι κατά κύριο λόγο στην ανακάλυψη αυτής της διάχυτης μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου, μιλούν για ένα αποδεκτό κοσμολογικό μοντέλο της δημιουργίας του Κόσμου.

Όπως συμβαίνει με όλες τις σπουδαιές επιστημονικές επαναστάσεις, το πλήθος των προβλημάτων που απαντήθηκαν από την εργασία των Penzias και Wilson ήταν όσο και των νέων προβλημάτων που ανέκυψαν. Το πιο δραματικό από αυτά αφορούσε την εξαιρετικά ομοιόμορφη κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου. Η παρατηρούμενη έλλειψη οποιασδήποτε μετρήσιμης απόκλισης φαινόταν να μη συμβιβάζεται με τη δομή του σημερινού Σύμπαντος, ενός κόσμου δηλαδή με δισεκατομμύρια άστρα, γαλαξίες, σμήνη και υπερσμήνη κάθε άλλο παρά ομοιόμορφα κατανεμημένων.

Ήταν ακριβώς αυτό το μυστήριο που αποτέλεσε τον κύριο στόχο του δορυφόρου COBE (Cosmic Background Explorer ή Εξερευνητής Κοσμικού υποβάθρου) της NASA, ο οποίος από το Νοέμβριο του 1989 άρχισε να μελετά την ακτινοβολία υποβάθρου σε διάφορα μήκη κύματος.

Τον Απρίλιο του 1992, ο George F. Smoot του Lawrence Berkeley Laboratory και οι συνεργάτες του ανακοίνωσαν τα πρώτα ενθαρρυντικά αποτελέσματα: ο COBE είχε καταγράψει διακυμάνσεις στη μέση θερμοκρασία της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου του ουρανού της τάξης των 30 εκατομμυριστών του βαθμού Kelvin. Οι διακυμάνσεις αυτές φαίνεται να αντιστοιχούν σε κοσμικές δομές --υπολείμματα από την εποχή μόλις 300.000 χρόνια μετά την τρομακτική έκρηξη που πιστεύεται ότι δημιούργησε το Σύμπαν. Τον πρώτο ενθουσιασμό από την ανακάλυψη του COBE έχει τώρα αντικαταστήσει η προσεκτική μελέτη των μετρήσεων και η προσπάθεια ερμηνείας τους.

Από τους HUBBLE και GAMOW στους PENZIAS και WILSON

Η κοσμολογία, όπως την αντιλαμβανόμαστε σήμερα, έχει αναπτυχθεί μέσα στο θεωρητικό πλαίσιο που πρόσφερε το 1916 η Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein, η οποία ήταν μια θεωρία βαρύτητας, αντικαθιστώντας τη μέχρι τότε Νευτώνια θεωρία της παγκόσμιας έλξης (τουλάχιστον για χώρους με μεγάλες συγκεντρώσεις μάζας) επέτρεψε στους επιστήμονες να περιγράψουν το Σύμπαν με γλώσσα δυναμική: το Σύμπαν μπορούσε να είναι παραμορφωμένο -ακριβέστερα, καμπυλωμένο- εξαιτίας των ουράνιων σωμάτων που περιείχε, να δρα βαρυτικά πάνω στο φως και στην ενέργεια, να διαστέλλεται και να συστέλλεται και, το κυριότερο, μπορούσε να έχει μια αρχή και ένα τέλος. Η πρώτη παρατηρησιακή επιβεβαίωση ενός διαστελλόμενου Σύμπαντος - και συγχρόνως η απαρχή της θεωρίας της Μεγάλης Εκρήξης - δόθηκε τη δεκαετία του 1920 από τη σπουδαία ανακάλυψη του Αμερικανού αστρονόμου Edwin Hubble ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται ο ένας από τον άλλον με ταχύτητες ανάλογες των αποστάσεών τους. Για ένα Σύμπαν που φαινόταν να διαστέλλεται, ήταν φυσικό να υποθέσει κανείς ότι κάποια στιγμή στο απόμακρο παρελθόν του όλοι οι γαλαξίες θα βρίσκονταν πολύ πλησιέστερα μεταξύ τους, συμπιεσμένοι σε μια μάζα αφάνταστα υψηλής πυκνότητας και θερμοκρασίας.

Με το τέλος της δεκαετίας του 1940, οι Ralph Alpher και Robert Herman του Applied Physics Laboratory στις ΗΠΑ είχαν αναπτύξει σε ικανοποιητικό βαθμό τη διδακτορική θέση του Alpher σχετικά με τις ιδιότητες της υπέρθερμης ύλης από την έκρηξη της οποίας μπορούσε να είχε δημιουργηθεί το Σύμπαν. Επρόκειτο ουσιαστικά για την προώθηση μιας ιδέας του George Gamow, Ρώσου επιστήμονα που έφτασε στις ΗΠΑ το 1933 και εγκαταστάθηκε στο George Washington University. Οι Alpher και Herman γρήγορα κατάλαβαν ότι το σημερινό Σύμπαν θα έπρεπε να είναι γεμάτο με το υπόλειμμα εκείνης της αφάνταστα υψηλής θερμοκρασίας της δημιουργίας του. Ωστόσο, σαν συνέπεια της μετέπειτα διαστολής του Σύμπαντος, η θερμοκρασία αυτή θα έπρεπε σήμερα να έχει μειωθεί σημαντικά σε ένα είδος διάχυτης ακτινοβολίας "στο βάθος" όλων των υπόλοιπων ακτινοβολιών από τις μετέπειτα "δραστηριότητες" του Σύμπαντος. Η πρόβλεψή τους ότι σήμερα αυτή η παραμένουσα ακτινοβολία υποβάθρου θα ήταν γύρω στους πέντε βαθμούς πάνω από το απόλυτο μηδέν δημοσιεύτηκε στο επιστημονικό περιοδικό Nature το 1948 αλλά πέρασε απαρατήρητη.

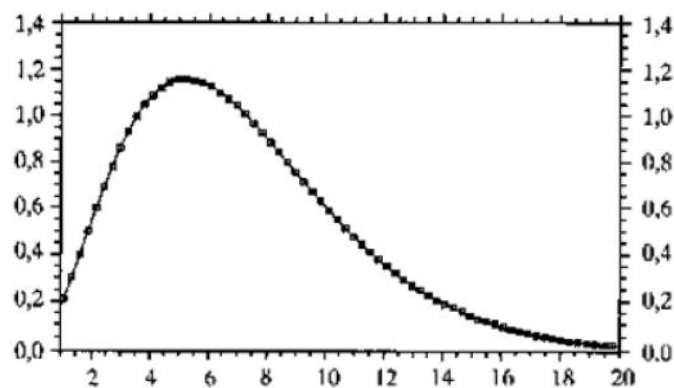
Περίπου δεκαπέντε χρόνια αργότερα, η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου ανακαλύφθηκε κατά τύχη. Οι ραδιοαστρονόμοι Arno Penzias και Robert Wilson των Bell Laboratories, κατά τη διάρκεια ενός τεστ ρουτίνας μιας κωνικής κεραίας μικροκυμάτων στο Holmdel του New Jersey, παρατήρησαν ένα στατικό ηλεκτρικό θόρυβο στο σήμα τους που φαινόταν να προέρχεται από κάθε σημείο του ουρανού. Αφού κάθε προσπάθεια να απαλλαγούν από αυτό το θόρυβο απέτυχε, ζήτησαν βοήθεια από συναδέλφους τους και τότε πληροφορήθηκαν από τον Robert H. Dicke του Princeton ότι μόλις είχαν "ακούσει" τον απόηχο από τη Μεγάλη Εκρήξη - για την ακρίβεια, ότι "ακουγόταν" 300.000 χρόνια μετά τη στιγμή της Δημιουργίας, αλλά εξασθενημένο σε μια αντίστοιχη θερμοκρασία 2,74 βαθμών της κλίμακας Kelvin λόγω της διαστολής του Σύμπαντος που ακολούθησε.

Αμέσως ήλθε στην επικαιρότητα η θεωρία των Gamow, Alpher και Herman. Η εποχή ήταν επίσης ώριμη για μια σύνδεση της κοσμολογίας με τις ισχύουσες τότε θεωρίες των στοιχειωδών σωματιδίων (σε λίγα χρόνια θα ολοκληρωνόταν η ενοποίηση των ηλεκτρομαγνητικών και των ασθενών πυρηνικών δυνάμεων από τους Salam, Weinberg και Glashow). Πολύ σύντομα οι επιστήμονες μιλούσαν με αυτοπεποίθηση για τα "τρία πρώτα λεπτά" μετά τη στιγμή της Μεγάλης Εκρήξης, ίσως και για τα πρώτα εκατοστά του δευτερολέπτου μετά τη Δημιουργία. Το λεγόμενο αποδεκτό μοντέλο της δημιουργίας του Σύμπαντος είχε γεννηθεί

Από την κεραία του HOLMDEL στα ραδιό-μετρα του COBE



Τα χρόνια που ακολούθησαν την τυχαία ανακάλυψη των Penzias και Wilson γνώρισαν μια άλλη "Μεγάλη Εκρηξη": θεωρίες, μοντέλα και υποθέσεις γύρω από την προσπάθεια να ενσωματωθούν στο νέο αποδεκτό μοντέλο της κοσμολογίας τα διάφορα πειραματικά δεδομένα που είχαν συσσωρευθεί από την εποχή των πρώτων παρατηρήσεων του Hubble στη δεκαετία του 1920 σχετικά με τη διαστολή του Σύμπαντος. Το ίδιο το αποδεκτό μοντέλο βελτιώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 με τη λεγόμενη πληθωρισμική εκδοχή του Alan Guth του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης. Για να αντιληφθεί κανείς την αναγκαιότητα να μελετηθεί η κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου πάνω από το "θόρυβο" της γήινης ατμόσφαιρας-αναγκαιότητα που κατέληξε στην εκτόξευση του δορυφόρου COBE αφιερωμένου αποκλειστικά στην παρατήρηση της ακτινοβολίας υποβάθρου- πρέπει να ανατρέξει στα αναπάντητα προβλήματα που είχαν παραμείνει στα μέσα της δεκαετίας του 1980 μετά την αποδοχή του πληθωρισμικού μοντέλου.



Το φάσμα όπως μετρήθηκε από τον COBE. Το φάσμα δείχνει την κατανομή της ενέργειας της ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος. Η συνεχής καμπύλη παριστάνει τη θεωρητικά προσδοκώμενη κατανομή της ακτινοβολίας που προέρχεται από τη Μεγάλη Εκρηξη. Αυτή η ακτινοβολία είναι τύπου μέλανος σώματος.

Η ακτινοβολία μικροκυμάτων υποβάθρου θεωρείται ότι αποτελεί το υπόλειμμα της θερμικής ισορροπίας που χαρακτηρίζει το Σύμπαν περίπου 300.000 χρόνια μετά τη Μεγάλη Εκρηξη. Η ακτινοβολία που παρατηρείται σήμερα σε θερμοκρασία 2,74 βαθμών Kelvin αντιστοιχεί σε μια αρχέγονη θερμοκρασία 3.000 βαθμών που μετατράπηκε σε ανιχνεύσιμη όταν τα ελεύθερα ως τότε ηλεκτρόνια παγιδεύτηκαν σε κβαντισμένες ατομικές τροχιές γύρω από πυρήνες υδρογόνου, ηλίου και λιθίου.

Σαν αποτέλεσμα αυτής της παγίδευσης, η αλληλεπίδραση φωτονίων και πυρήνων και ηλεκτρονίων μειώθηκε δραματικά και η ύλη έγινε διαπερατή στην ακτινοβολία.

Η περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας εκείνης στη σημερινή τιμή της κατά τρεις τάξεις μεγέθους (δηλαδή χίλιες φορές) οφείλεται στην αντίστοιχη μετέπειτα διαστολή του Σύμπαντος.

Η παραπάνω εικόνα της πρώτης ηλικίας του Σύμπαντος περιγράφει μια τελείως ομοιόμορφη κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου. Από μια άποψη, μια τέτοια κατανομή φαινόταν μέχρι πριν από λίγα χρόνια να συμφωνεί απόλυτα με όλες τις μετρήσεις της ακτινοβολίας υποβάθρου με ακρίβεια 1/10.000.

Αλλά κάθε άλλο παρά συμφωνεί με τη σημερινή εικόνα του εξαιρετικά ανομοιόμορφου Σύμπαντος γύρω μας. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι σύγχρονες χαρτογραφήσεις μεγάλης κλίμακας του ουρανού γίνονται με βάση σμήνη γαλαξιών και παρουσιάζουν δομές, τόσο από υπερσμήνη γαλαξιών όσο και από κενά, με διαστάσεις που φτάνουν τα 300 εκατομμύρια έτη φωτός! Πώς λοιπόν μπορεί κανείς

να ερμηνεύσει την εξέλιξη μιας τέλει ομοιογενούς κατανομής ακτινοβολίας (και προφανώς ύλης) σε ένα Σύμπαν που κυριαρχείται από υπερσυγκεντρώσεις γαλαξιών σε "Μεγάλα Τείχη" διασκορπισμένα ανάμεσα σε "Μεγάλα Κενά";
Ο COBE λοιπόν εκτοξεύτηκε το 1989 ακριβώς για να δώσει απάντηση σε αυτό το ερώτημα. Ήταν κάτι περισσότερο από διαδικασία ρουτίνας σε μια περίοδο κανονικής επιστημονικής δραστηριότητας.

Πολλοί ερευνητές που εργαζόνταν πάνω στο αποδεκτό κοσμολογικό μοντέλο είχαν αρχίσει να ανησυχούν για την αδυναμία των επίγειων πειραμάτων να παρατηρήσουν διακυμάνσεις στην κατανομή της ακτινοβολίας υποβάθρου που θα εξηγούσαν την προέλευση των σημερινών δομών στο Σύμπαν. Η ανακοίνωση από τον Smoot στις 23 Απριλίου 1992 ότι "η Μεγάλη Εκρηξη ήταν ζωντανή και πολύ-πολύ υγιής" προκάλεσε ίσως περισσότερο ανακούφιση παρά ενθουσιασμό ανάμεσα στην κοινότητα των κοσμολόγων.

Ο COBE ανίχνευσε διακυμάνσεις στην κατανομή της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου που διαφέρουν από τη μέση θερμοκρασία των 2,74 βαθμών Kelvin του ουρανού μόνο κατά 30 εκατομμυριοστά του βαθμού. Το μεγαλύτερο μέρος των διακυμάνσεων -περίπου τα δύο τρίτα των δεδομένων- είναι στην πραγματικότητα αποτύπωση του ηλεκτρικού θορύβου των οργάνων του δορυφόρου και των ακτινοβολιών από κοντινές "πρόσφατες" πηγές του ουρανού. Η μαθηματική ανάλυση των διακυμάνσεων δείχνει ότι πίσω από την ολική εικόνα φαίνεται να υπάρχουν σήματα που ανταποκρίνονται σε αληθινές στατιστικές διακυμάνσεις στην κατανομή της ακτινοβολίας υποβάθρου. Οι μικρότερες από τις δομές αυτές εκτείνονται μέχρι και 500 εκατομμύρια έτη φωτός μέσα στο διάστημα!

Μελλοντικά σχέδια

Δύο νέες διαστημικές αποστολές ετοιμάζονται αυτό τον καιρό με θέμα τη μελέτη της ακτινοβολίας υποβάθρου και θα εκτοξευθούν τα επόμενα χρόνια. Η πρώτη προέρχεται από τη NASA που θα εκτοξεύσει τον MAP (Microwave Anisotropy Probe) και η δεύτερη από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία που θα εκτοξεύσει τον Planck σε πέντε χρόνια περίπου.

Τα τελευταία οκτώ χρόνια από την ανακάλυψη της ανισotropίας στην ακτινοβολία υποβάθρου που πρόσφερε ο COBE, πραγματοποιήθηκαν πολλές μετρήσεις, οι οποίες επαλήθευσαν το αποτέλεσμα. Δυστυχώς, όμως, όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα η ακριβειά τους να είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν του COBE. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

Οι μετρήσεις είναι σε συμφωνία με τη θεωρία της Εκθετικής Διαστολής και ταυτόχρονα απορρίπτουν όλες τις θεωρίες της εξέλιξης του σύμπαντος οι οποίες δεν περιέχουν την ύπαρξη μη βαρυονικής σκοτεινής ύλης.

Επίσης, τα αποτελέσματα απορρίπτουν τη θεωρία πως οι αρχικές διαταραχές που οδήγησαν στη δημιουργία των σημερινών σχηματισμών οφείλονταν στο "σπάσιμο" της συμμετρίας και το χωρισμό των τεσσάρων δυνάμεων. Σε συνδυασμό με ορισμένες τελευταίες μετρήσεις που υποδεικνύουν ότι πρώτα σχηματίστηκαν οι γαλαξίες και μετά τα σμήνη μπορούμε να πούμε ότι η σημερινή θεώρηση είναι αυτή της εκθετικής διαστολής και της ψυχρής σκοτεινής ύλης.

Από τις μετρήσεις της ανισotropίας μπορούμε ακόμα να μετρήσουμε και να ελέγξουμε πειραματικά τις προβλέψεις της θεωρίας για το Ω , τη σταθερά του Hubble ή την πυκνότητα βαρυονίων με ακρίβεια της τάξης του 20%. Υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής της τιμής του Ω από μετρήσεις υπερκαινοφανών αστέρων. Η ανισotropία της ακτινοβολίας υποβάθρου θα μας επιτρέψει να διασταυρώσουμε την τιμή αυτή και με μία εντελώς διαφορετική μέθοδο.

Μία επιπλέον ιδιότητα της ανισotropίας της ακτινοβολίας υποβάθρου που δεν έχει παρατηρηθεί ακόμα είναι το γεγονός ότι πρέπει να είναι μερικά πολωμένη. Οι νέοι δορυφόροι MAP και Planck θα έχουν τα κατάλληλα όργανα ώστε να μετρήσουν αυτή την πόλωση.

Υπάρχει η αντίληψη ότι μελετώντας τη θα είμαστε σε θέση να ξεχωρίσουμε τη συνεισφορά των κυμάτων βαρύτητας λόγω της εκθετικής διαστολής και, γνωρίζοντας αυτή τη συνεισφορά, να υπολογίσουμε την ενεργειακή κλίμακα της διαστολής. Επίσης, η πόλωση θα μας δώσει πληροφορίες για τον ιονισμό που παρατηρήθηκε στο σύμπαν κατά τη δημιουργία των πρώτων άστρων και για το τέλος της σκοτεινής περιόδου που ξεκίνησε την περίοδο της επανασύνδεσης.

Από την ανακάλυψή της μέχρι σήμερα η ακτινοβολία υποβάθρου έχει παίξει τεράστιο ρόλο στην κοσμολογία. Μας αποκάλυψε κάποια από τα βαθιά κρυμμένα μυστικά του σύμπαντος και μας άνοιξε "ένα παράθυρο σε μία εποχή όπου το σύμπαν είχε ηλικία μόλις 300.000 ετών. Η μελέτη της ανισotropίας της ακτινοβολίας, κυρίως χάρη στους δύο δορυφόρους που θα εκτοξευθούν τα επόμενα χρόνια, ελπίζουμε ότι θα λύσει πάρα πολλές από τις σημερινές απορίες μας για την εξέλιξη του σύμπαντος και θα αποκαλύψει τις τιμές των κοσμολογικών παραμέτρων που ακόμα μας διαφεύγουν. Σίγουρα πάντως θα θέσει σε δοκιμασία όλες τις θεωρίες μας για την εξέλιξη αυτή. Σε αναμονή λοιπόν της εκτόξευσης του MAP και του Planck το 2005.