

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 27^{ΗΣ} ΜΑΪΟΥ 2003

ΑΝΑΖΗΤΩΝΤΑΣ ΤΟΝ ΧΑΜΕΝΟ ΣΥΜΠΙΑΝΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Β. ΝΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το μεγαλύτερο, πολυπλοκότερο, δυσκολότερο αλλά και συναρπαστικότερο πρόβλημα της επιστήμης είναι η κατανόηση της εμφάνισης και εξέλιξης του Σύμπαντος. Κάθε δυνατή λύση πρέπει να είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη, να χαρακτηρίζεται από διαφυστότητα, δηλαδή από προβλέψεις που μπορούν να επικυρωθούν ή να απορριφθούν και από αναπαραγωγίσιμα πειραματικά δεδομένα. Πώς όμως είναι δυνατό να μιλάμε για επιστημονική θεώρηση όλου του Σύμπαντος που εμφανίστηκε μια και μόνο φορά και δεν μπορούμε να το αναπαράγουμε όσες φορές θέλουμε στο εργαστήριο;

Εδώ η φύση μας προσφέρει ένα “δειο δώρο”, το πεπερασμένο της ταχύτητας του φωτός και τη διαστολή του Σύμπαντος.

Με άλλα λόγια, όσο πιο μακριά είναι τα ουράνια σώματα/φαινόμενα που παρατηρούμε μέσα από τα “τηλεσκόπια”, τόσο πιο πίσω κοιτάμε στο χρόνο και άρα μας δίνεται η δυνατότητα πειραματικής μελέτης του νεογνού Σύμπαντος! Το φως που εκπέμπει ο ήλιος, παραδείγματος χάριν, ταξιδεύει γύρω στα 8.3 λεπτά μέχρι να φτάσει στη γη, που σημαίνει ότι η “εικόνα” του ήλιου που βλέπουμε είναι όπως ήταν ο ήλιος ακριβώς πριν 8.3 λεπτά. Άρα, χρησιμοποιώντας μεγαλύτερα τηλεσκόπια ή άλλες σχετικές διατάξεις ανίχνευσης της ακτινοβολίας, μπορούμε να φθάσουμε πολύ-πολύ μακριά στο διάστημα και άρα πολύ βαθιά, δηλαδή πολύ πίσω, στο χρόνο.

Θα συζητήσω εδώ τα τελευταία πειραματικά δεδομένα από τον Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), δορυφόρο της NASA, πρωτοφανούς

ἀκρίβειας, πού μᾶς ἐπιτρέπουν ὄχι μόνο νὰ μιλάμε γιὰ ἓνα Standard Model (καθιερωμένο / καταξιωμένο πρότυπο) τοῦ Σύμπαντος, τὸ λεγόμενο “Κοσμολογικὸ Πληθωριστικὸ Μοντέλο”, ἀλλὰ καὶ πού περιορίζουν, σχεδὸν ἀσφυκτικά, τὸν ἐπιτρεπόμενο χωρὸ παραμέτρων πού χαρακτηρίζουν τὶς Ὑπερσυμμετρικὲς Ἑνοποιημένες θεωρίες (SUSY GUTS), πού εἶναι τὸ ὄριο, σὲ χαμηλὲς ἐνέργειες τῆς θεωρίας τῶν Ὑπερχορδῶν.

Αλλὰ ἄς πάρουμε τὰ πράγματα ἀπὸ τὴν ἀρχή. Ἀπὸ τὴ Μεγάλῃ Ἀρχῇ, δηλαδὴ ἀπὸ τὴ Μεγάλῃ Ἑκρηξῇ (Big Bang).

Ξέρουμε σήμερα ὅτι ζοῦμε σὲ ἓνα διαστελλόμενο Σύμπαν, μὲ ρυθμὸ διαστολῆς $H_0 = 71 \text{ km/s Mpc}$ ἢ τιμὴ τῆς παραμέτρου Hubble, σφάλματος μόλις 5%, πού εἶναι προτὶν μιᾶς Μεγάλῃς Ἑκρηξῆς πού συνέβη πρὶν $t_0 = 13,7$ δισεκατομμύρια χρόνια ἢ ἡλικία τοῦ Σύμπαντος σήμερα, σφάλματος μόλις 1%. Ἡ συνεχὴς διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος συνοδεύεται ἀπὸ μίαν συνεχῇ ἐλάττωσιν τῆς θερμοκρασίας του, δηλαδὴ τῆς θερμοκρασίας πού χαρακτηρίζει τὴν Κοσμικὴ Μικροκυματικὴ Ἀκτινοβολία Ὑποβάθρου (Cosmic Microwave Background Radiation) πού δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο ἀπὸ τὴ ΜεγαλοΕκρηκτικὴ πρωτογενὴ Ἠλεκτρομαγνητικὴ Ἀκτινοβολία, τὰ κβάντα τῆς ὁποίας ὀνομάζουμε φωτόνια. Ἡ σημερινὴ τιμὴ τῆς κοσμικῆς αὐτῆς θερμοκρασίας εἶναι $T_0 = 2,725^\circ \text{K}$, σφάλματος μόλις $\frac{1}{2}\%$, πού ἀντιστοιχεῖ σὲ μικροκυματικὰ (microwave) φωτόνια. Στὰ πρῶτα στάδια ἐξελίξεως τοῦ Σύμπαντος, ἡ ὑψηλὴ κοσμικὴ θερμοκρασία, $T \gg 10,000^\circ \text{K} \approx 1 \text{ eV}$, χαρακτηριστικὴ τιμὴ ἐνέργειας ἰονισμοῦ, δὲν ἐπιτρέπει τὴ δημιουργίαν ἀτόμων καὶ τὸ Σύμπαν εἶναι σὲ κατάστασιν πλάσματος, δηλαδὴ μιὰ ὁμογενὴς καὶ ἰσότροπὴ “σούπα” ὅπου ὕλη καὶ ἀκτινοβολία εἶναι ἀλληλοεγκλωβισμένες.

Μὲ ἄλλα λόγια ἂν καὶ ἀκόμη δημιουργοῦνται ἄτομα ὕδρογόνου (H), φωτόνια μὲ ἐνέργεια μεγαλύτερη τῶν 13,6 eV (ἐνέργεια ἰονισμοῦ τοῦ H) θὰ τὰ ἰονίσουν. Τέτοιου εἶδους διαδικασίες κρατοῦν ὕλη καὶ ἀκτινοβολία σὲ ἰσορροπία καὶ ἄρα δημιουργεῖται ἓνα “ἀδιαφανὲς” περίβλημα. Ὅταν ἡ ἡλικία τοῦ Σύμπαντος, συμπληρώσῃ περίπου 380.000 χρόνια, ἀπὸ τὴ Μεγάλῃ Ἑκρηξῇ, τότε ἡ κοσμικὴ θερμοκρασία εἶναι χαμηλότερη τῆς ἐνέργειας ἰονισμοῦ τοῦ H, καὶ ἄρα τὰ πρῶτα ἄτομα δημιουργοῦνται καὶ σιγὰ-σιγὰ ὕλη καὶ ἀκτινοβολία ἀποσυζεύγνυνται, καὶ τὸ “ἀδιαφανὲς περίβλημα” ἐξαφανίζεται. Τὰ φωτόνια μποροῦν νὰ ταξιδεύουν ἐλεύθερα πιά, ἀπὸ τότε, καὶ νὰ καταλήξουν σήμερα στὰ συστήματα ἀνιχνεύσεώς τους, προσφέροντάς μας ἀνυπολόγιστης ἀξίας πληροφορίες γιὰ τὸ πῶς ἦταν τὸ Σύμπαν τότε, δηλαδὴ 380.000 μετὰ ἀπὸ τὴ Μεγάλῃ

Έκρηξη. Ή εποχή αυτή είναι σπουδαίο **κομβικό σημείο** και από απόψεως πειραματικής, μόνο με φωτόνια δεν μπορούμε να δοῦμε πιό πίσω στην ηλικία του Σύμπαντος, αλλά και από απόψεως θεωρητικής καθώς μᾶς παρέχει μιὰ ἔξοχη “ἐξέδρα” γιὰ νὰ μελετήσουμε τὸ Σύμπαν στὴν ἐμβρυακὴ του (παρελθόν), τὴν ὠριμὴ του (παρόν), ἀλλὰ καὶ γεροντικὴ του (μέλλον) ηλικία. Πῶς ὅμως μποροῦν νὰ γίνουν ὅλα αὐτά;

Τὸ θεωρητικὸ πλαίσιο μελέτης τοῦ Σύμπαντος εἶναι ἡ θεωρία τῆς Γενικῆς Σχετικότητας ἢ Βαρύτητας τοῦ Einstein. Ἕνα ὁμογενὲς καὶ ἰσότροπο Σύμπαν εἶναι μιὰ συνεπὴς λύση τῶν ἐξισώσεων τοῦ Einstein, ἀλλὰ χωρὶς νὰ προσδιορίζεται ἡ καμπυλότητα τοῦ Σύμπαντος. Συνέπεια τῆς **Κοσμολογικῆς Ἀρχῆς** εἶναι ὅτι κάθε σημεῖο τοῦ Σύμπαντος πρέπει νὰ ἔχει τὴν ἴδια τιμὴ τῆς ἐνεργειακῆς πυκνότητας ρ . Οἱ ἐξισώσεις τοῦ Einstein μᾶς λένε, ὅτι ἡ ἐνεργειακὴ πυκνότητα καθορίζει τὴν καμπυλότητα στὸ συγκεκριμένο σημεῖο, ἄρα ἡ καμπυλότητα πρέπει νὰ εἶναι ἡ ἴδια παντοῦ στὸ Σύμπαν. Ὑπάρχουν μόνο τρεῖς λύσεις!

Ἡ πιὸ ἀπλὴ λύση εἶναι νὰ ἔχουμε ἓνα Σύμπαν καμπυλότητας **μηδέν**, δηλαδή ἓνα **ἐπίπεδο** ἢ καλύτερα **Εὐκλείδειο** (τρισδιάστατο) Σύμπαν. Σὲ αὐτὴ τὴν περίπτωση ἡ ὅλικὴ ἐνέργεια τοῦ Σύμπαντος εἶναι **μηδέν**. Ἀλλὰ ἓνα **Μηδέν Δυναμικό**. Σὲ κάθε στιγμὴ τῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος ἡ ἐνέργεια διαστολῆς, κινητικὴ ἐνέργεια ἄρα θετικοῦ προσήμου, ἰσοῦται ἀκριβῶς σὲ ἀπόλυτὴ τιμὴ, μὲ τὴν ἀρνητικὴν σημείου λόγω τῆς ἐλκτικῆς τῆς φύσεως, βαρυτικὴ δυναμικὴ ἐνέργεια, καὶ κατὰ συνέπεια $E_{\text{ολ}} = 0$! Ὑπάρχει ἐπίσης τὸ **ἀνοικτό**, σαμαροειδές, ἀρνητικῆς καμπυλότητας καὶ θετικοῦ ἐνεργειακοῦ ὑπολοίπου, Σύμπαν ὅπως ἐπίσης τὸ **κλειστό**, σφαιρικὸ, θετικῆς καμπυλότητας καὶ ἀρνητικοῦ ὑπολοίπου ἐνέργειας Σύμπαν. Τὸ πιὸ προσφιλὲς Σύμπαν ἦταν τὸ ἐπίπεδο ἢ Εὐκλείδειο Σύμπαν, γιὰτὶ μᾶς ἀπαλλάσσει ἀπὸ τὸ πρόβλημα τῆς προέλευσης τοῦ ἐνεργειακοῦ ὑπολοίπου. Ἀλλὰ ὑπάρχει καὶ πολὺ πειστικὸς θεωρητικὸς λόγος, ποὺ μᾶς ὁδήγησε στὸν **Κοσμολογικὸ Πληθωρισμό**! Τὸ Σύμπαν εἶναι πάρα πολὺ μεγάλο σὲ χῶρο καὶ χρόνο, γιὰ νὰ ἔχει τὴν παρατηρούμενη ὁμογένεια καὶ ἰσοτροπία. Πειστικὴ πειραματικὴ ἔκφραση αὐτοῦ τοῦ γεγονότος εἶναι ὅτι οἱ τυχόν ἀποκλίσεις ἀπὸ τὴν ἰσοτροπία τῆς κοσμικῆς θερμοκρασίας πρέπει νὰ εἶναι $\leq 10^{-5}$! Ὄντας ἔτσι τὰ πράγματα, τὸ Σύμπαν, στὰ πρώιμα στάδια τῆς ἐξελιξέως του, θὰ ἔπρεπε νὰ περιέχει περιοχὲς ποὺ δὲν θὰ ἦταν σὲ αἰτιατὴ (causal) ἐπαφή, δηλαδή δὲν θὰ μπορούσαν νὰ ἔχουν ἐπικοινωνήσει οὔτε μὲ φωτόνια, ποὺ τρέχουν μὲ τὴ μεγίστη ταχύτητα, δηλαδή τοῦ φωτός! Ἀρα πῶς βρεθῆκανε ὅλες αὐτὲς οἱ ἀπομονωμένες μεταξὺ τους περιοχὲς νὰ ἔχουν ἀκριβῶς τὶς ἴδιες, ιδιότητες, π.χ. $\Delta T / T \leq 10^{-5}$;

Ἡ λύση ἤρθε ἀπὸ τὶς Ἑνοποιημένες θεωρίες (GUTs). Τὸ Σύμπαν, 10^{-35} δευτερόλεπτα, μετὰ τὴ Μεγάλῃ Ἐκρηξίῃ, πέρασε ἀπὸ μίᾳ φάσῃ *ἐκθετικῆς διαστολῆς*, $R \sim e^{Ht}$, γιὰ ἀπειροελάχιστο χρόνο, ποῦ ἦταν δυνατόν νὰ πάρει μίᾳ μικρῇ, αἰτιατῇ, περιοχῇ καὶ νὰ τὴν “φουσκώσῃ” τόσο πολὺ τότε, ποῦ σήμερᾳ ἡ αἰτιατὴ αὐτὴ περιοχὴ νὰ καλύπτει ὅλο τὸ Σύμπαν!

Τὸ *πρόβλημα τοῦ ὀρίζοντος* λύθηκε μὲ τὸν «Κοσμολογικὸ Πληθωρισμὸ» (Inflation Theory). Μιὰ προφανῆς συνέπεια τοῦ Πληθωριστικοῦ μοντέλου εἶναι ὅτι ἀπὸ ὁποιοδήποτε Σύμπαν καὶ ἂν ξεκινήσαμε, μετὰ τὸν «Πληθωρισμὸ» τὸ Σύμπαν θὰ εἶναι *ἐπίπεδο*: $k_+/k_- \approx 10^{-60}$!

Ἄρα ἔχουμε ἐδῶ ἓνα *δυναμικὰ* ἐμφανιζόμενο ἐπίπεδο Σύμπαν, ἀνεξάρτητο ἀρχικῶν συνθηκῶν!

Μὲ ἄλλα λόγια $k=0$ ἢ ἰσοδύναμα $E_{0\lambda} = 0$, δηλαδὴ κανένα πρόβλημα μὲ ἐνεργειακὰ ἰσοζύγια. Ἰσοδύναμα αὐτὸ σημαίνει $\Omega \equiv \rho/\rho_{\text{critical}} = 1$, μίᾳ πολὺ βασικῇ πρόβλεψῃ τοῦ πληθωριστικοῦ μοντέλου. Πρέπει νὰ ἀναφέρουμε ἐνδεικτικὰ ἐδῶ ὅτι ὁ λόγος τῶν ἐνεργειακῶν πυκνοτήτων $\Omega \equiv \rho/\rho_{\text{critical}}$ μπορεῖ νὰ εἶναι μεγαλύτερος, μικρότερος ἢ ἴσος τῆς μονάδος, ἂν ζοῦμε σὲ κλειστὸ, ἀνοιχτὸ ἢ ἐπίπεδο Σύμπαν ἀντίστοιχα, ἄρα μὲ τὴν πυκνότητα $\rho_{\text{critical}} = 3H^2/8\pi G_N$ (μὲ H τὴν παράμετρο Hubble καὶ G_N τὴ Νευτώνειο σταθερὰ παγκοσμίου ἑλξεως) νὰ χαράσσῃ τὶς διαχωριστικὰς γραμμὰς, ὅθεν καὶ ὀνομαζόμενῃ συνήθως κριτικὴ πυκνότητα. Εἴρουμε ὅμως ὅτι δὲν ζοῦμε σὲ ἓνα Σύμπαν ἀκριβῶς ὁμογενὲς καὶ ἰσότροπο, ἀλλιῶς δὲν θὰ εἴμαστε ἐδῶ, θὰ εἴμαστε μιὰ “σούπα” ἡλεκτρονίων, πρωτονίων, φωτονίων κ.λπ. Πῶς ὅμως δημιουργήθηκαν οἱ πυρῆνες ἀνισοτροπίαι ποὺ ὀδήγησαν στὴ δημιουργία δομῶν στὸ Σύμπαν;

Τὸ πληθωριστικὸ μοντέλο δίνει μίᾳ πολὺ ἱκανοποιητικῇ ἀπάντησιν. Τὸ ἐμβρυακὸ Σύμπαν, διαστάσεων 10^{-25} cm, περίπου 17 τάξεων μεγέθους μικρότερο τοῦ ατόμου διαστάσεων 10^{-8} cm, εἶναι ἓνα πολὺ Κβαντικὸ Σύμπαν! Ὅχι μόνον ὀφείλει τὴν ὑπαρξὴ του στὶς τυχαῖες κβαντικὰς διακυμάνσεις, ἀπὸ τὶς ὁποῖες μίᾳ ξέφυγε προκαλώντας τὸ Big Bang καὶ ἔκτοτε διαστέλλεται συνεχῶς, ἀλλὰ καὶ οἱ τυχαῖες κβαντικὰς διακυμάνσεις τῆς ἐνεργειακῆς πυκνότητος στὸ ἐμβρυακὸ Σύμπαν, ξαφνικὰ λόγῳ τοῦ Κοσμολογικοῦ πληθωρισμοῦ μεταμορφώνονται σὲ διακυμάνσεις ἐνεργειακῆς πυκνότητος σὲ κοσμολογικὰς κλίμακες, ποῦ εἶναι οἱ πυρῆνες, ἢ οἱ σπόροι, γύρω ἀπὸ τὶς ὁποῖες σὲ κάποια στιγμὴ ἀρχίζουν νὰ δημιουργοῦνται οἱ μεγάλες δομὲς τοῦ Συμπαντος. Μὲ ἄλλα λόγια ὅπως τὸ Σύμπαν αὐτὸ καὶ ἐαυτὸ, ἔτσι καὶ οἱ μεγάλες δομὲς, σμήνη γαλαξιδῶν, γαλαξίες, σμήνη ἀστέρων, ἀστέρες, κ.λπ. εἶναι κβαντικῆς φύσεως, καὶ ἄρα *δυναμικὰ τυχαῖα*, καὶ

όχι *ancilla dei τυχαία*. Βεβαίως, αυτές οι διακυμάνσεις της ενεργειακής πυκνότητας θα είναι “παγωμένες” έως ότου η ύλη και η ακτινοβολία αποσχισθούν, διότι αλλιώς τα πολύ ενεργητικά φωτόνια θα ισοπεδώνουν κάθε μικρή τοπική παραμόρφωση. Δηλαδή γύρω στα 380.000 χρόνια, από τη Μεγάλη Έκρηξη, αρχίζουν να εμφανίζονται οι πρώτες κοσμικές διακυμάνσεις της ενεργειακής πυκνότητας, που βέβαια θα προκαλέσουν κάποια ανισοτροπία στη γωνιακή κατανομή των φωτονίων, δηλαδή θα προκαλέσουν ανισοτροπία στην κοσμική θερμοκρασία $\Delta T / T \neq 0$! Τα τελευταία είκοσι χρόνια οι θεωρητικοί έρευνήσαμε διεξοδικά τη μορφή αυτής της ανισοτροπίας, δηλαδή υπολογίσαμε τη συνάρτηση $\Delta T(\vartheta)$, όπου ϑ είναι η γωνία που ξεκινά από 0° στον όριζοντα, 90° κάθετα επάνω και 180° στην άλλη άκρη. Επίσης τα φωτόνια, σκεδαζόμενα στην “τελική επιφάνεια” διαχωρισμού ύλης-ακτινοβολίας, θα αποκτήσουν συγκεκριμένη “πόλωση” που υπολογίσαμε εν πάση λεπτομερεία. Έν κατακλείδι το κοσμολογικό πληθωριστικό μοντέλο:

- α) Ξέγηρε όλα τα γνωστά πειραματικά δεδομένα.
- β) Ήλυσε υπάρχοντα προβλήματα του κανονικού μοντέλου του Big Bang, όπως το πρόβλημα του όριζοντος, της παρούσης ηλικίας του Σύμπαντος και της παρούσης τιμής της ενεργειακής πυκνότητας, χωρίς fine-tuning,...
- γ) προέβλεψε:
 - 1) Ότι ζούμε σε ένα επίπεδο Σύμπαν ($\Omega=1$), και χρησιμοποιώντας την τιμή της $\Omega_{\text{Baryon}} \approx 0,04$, από τον έπιτυχη υπολογισμό της πρωτογενούς πυρηνοσυνθέσεως (Primordial nucleosynthesis), προέβλεψε επίσης την ύπαρξη σκοτεινής ύλο-ενέργειας σε ποσοστό 96%!
 - 2) Ότι οι διακυμάνσεις ενεργειακής πυκνότητας είναι κβαντικής φύσεως και άρα, παγκόσμιες (universal), ανεξάρτητες του μήκους κύματος (scale invariant), και αδιαβατικές, δηλαδή $\Delta\rho/\rho = 3 \Delta T/T \approx 10^{-5}$. Προέβλεψε την καμπύλη $\Delta T(\vartheta)$, ως προερχόμενη από ακουστικές ταλαντώσεις, άρα με maxima και minima που φθίνουν σε μικρότερες και μικρότερες γωνίες ($\vartheta < 1^\circ$) και παρουσιάζουν το πρώτο maximum στη γωνία $\vartheta \sim 1^\circ$ (ή ισοδύναμα $l=200$ όπου $l=180^\circ/\vartheta$), που αντιστοιχεί δηλαδή σε επίπεδο Σύμπαν ($\Omega=1$).
 - 3) Την “πόλωση” της Κοσμικής ακτινοβολίας Υποβάθρου.

Δηλαδή το κοσμολογικό Πληθωριστικό Μοντέλο έχει όλα τα στοιχεία, κατά Kuhn, για να προκαλέσει μία Έπιστημονική Επανάσταση, ή χρησιμοποιών-

τας σύγχρονη γλώσσα ένα **Paradigm shift** (μετατόπιση παραδείγματος). Άρκει βέβαια να επαληθευτούν οι προβλέψεις της!

Για να δοῦμε λοιπὸν τί γίνεται πειραματικὰ/παρατηρησιακά;

Ἡ ἀποστολὴ τοῦ δορυφόρου τῆς NASA **WMAP** ἦταν/εἶναι νὰ προσδιορίσει τὴ **γεωμετρία, περιεχόμενο καὶ ἐξέλιξη** τοῦ Σύμπαντος, μέσω μιᾶς πλήρους καὶ λεπτομεροῦς (13FWHM διακριτικότητας) οὐράνιας χαρτογράφησης τῆς θερμοκρασιακῆς ἀνισοτροπίας στὴν Κοσμικὴ Ἀκτινοβολία Ὑποβάθρου, τὴν πιὸ παλιὰ ἀκτινοβολία ποὺ διαχέεται στὸ Σύμπαν. Σὰν κάποιο μέτρο συγκρίσεως μὲ παλαιότερες ἀντίστοιχες μετρήσεις, ἀπλῶς ἀναφέρουμε ὅτι ὁ προηγούμενος δορυφόρος τῆς NASA **COsmic Background Explorer (COBE)** σὲ αὐτὸ τὸν τομέα, εἶχε 45 φορές λιγότερη εὐαισθησία καὶ 33 φορές λιγότερη γωνιακὴ διακριτικότητα!

Ἄρα ἀναμένει κανεὶς ὅτι τὰ WMAP ἀποτελέσματα πρέπει νὰ διακρίνονται γιὰ τὴν ἀκρίβειά τους. Καὶ πράγματι ἔτσι εἶναι!

Ἡ καμπύλη μεταβολῆς τῆς Κοσμικῆς θερμοκρασίας ὑποβάθρου σὰν συνάρτηση τῆς γωνίας ϑ ἀπὸ τὸν ὀρίζοντα, $\Delta T = \Delta T(\vartheta)$ εἶναι μιὰ χαρακτηριστικὴ καμπύλη ἀκουστικῶν ταλαντώσεων, μὲ maxima καὶ minima ποὺ φθίνουν σὲ μικρότερες καὶ μικρότερες γωνίες ($\vartheta \ll 1^\circ$) καὶ παρουσιάζουν τὸ πρῶτο maximum κοντὰ στὴ γωνία $\vartheta \sim 1^\circ$, ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ $\Omega = 1$! Μὲ ἄλλα λόγια, ἡ πειραματικὴ καμπύλη δείχνει ὅλα τὰ ἀναμενόμενα χαρακτηριστικὰ ποὺ προέβλεψε τὸ Κοσμικὸ Πληθωριστικὸ Μοντέλο ποὺ συζητήσαμε πιὸ πάνω. Μία συστηματικὴ μελέτη τῶν νέων πειραματικῶν δεδομένων μᾶς ἐπιτρέπει ἕναν ἀκριβῆ προσδιορισμὸ τῶν ἐξῆς φυσικῶν ποσοτήτων:

(1) Τὴν παράμετρο Hubble:

$$H_0 = 71^{+4}_{-3} \text{ km/sMpc} = h (100 \text{ km/s Mpc}) \rightarrow h = 0.71^{+0.04}_{-0.03}$$

(2) Τὴν ἡλικία τοῦ Σύμπαντος,

$$t_0 = (13,7 \pm 0,2) \text{ δισεκατομμύρια χρόνια}$$

(3) Τὴν παράμετρο $\Omega_0 \equiv \rho_0 / \rho_{\text{critical}}$

$$\Omega_0 = 1.02 \pm 0.02$$

(4) Τὶς συνιστώσες τῆς παραμέτρου Ω_0

$$\Omega_0 = \Omega_M + \Omega_{DE}$$

$$\mu\epsilon \Omega_{DE} = 0.73 \pm 0.04, \text{ “Σκοτεινὴ Ἐνέργεια (Dark Energy)”}$$

$$\text{και } \Omega_M h^2 = \Omega_B h^2 + \Omega_{DM} h^2 = 0.135 \pm 0.008, \text{ “Μάζα”}$$

- (5) Τις συνιστώσες της παραμέτρου Ω_M ,

$$\Omega_B h^2 = 0.0224 \pm 0.0009, \text{ “Βαρυόνια”}$$

$$\text{και } \Omega_{DM} = 0.1126 \pm 0.008, \text{ “Σκοτεινή Ύλη (Dark Matter)”}.$$

- (6) Διακυμάνσεις ενεργειακής πυκνότητας, ανεξάρτητες του μήκους κύματος ($n_s \approx 0.99$)

- (7) Μετρήθηκε “πόλωση” στην Κοσμική ακτινοβολία Υποβάθρου.

Τα πειραματικά αυτά αποτελέσματα πρωτοφανούς μέχρι τώρα ακρίβειας για Κοσμολογικές μετρήσεις, είναι άκρως ενδιαφέροντα, θα έλεγα συναρπαστικά, γιατί πέρα από την πληροφορία που μας δίνουν για τη **γεωμετρία, περιεχόμενο, και εξέλιξη** του Σύμπαντος, υποστηρίζουν ισχυρότατα τη θέση ότι όχι μόνο ζούμε σε ένα **Κοσμολογικό Πληθωριστικό Σύμπαν**, που οφείλει την ύπαρξή του σε μία **τυχαία κβαντική διακύμανση**, αλλά και όλες οι δομές του Σύμπαντος (από τις πιο μεγάλες έως τις πιο μικρές) είναι προϊόντα **τυχαίων κβαντικών διακυμάνσεων** του “πληθωριστικού πεδίου”, που ευθύνεται για την “Κοσμική Πληθωριστική φάση” και που μεταμορφώνονται σε **τυχαίες διακυμάνσεις** της ενεργειακής πυκνότητας σε κοσμική κλίμακα, λόγω ακριβώς της **εκθετικής διαστολής**, που αναφερθήκαμε πιο πάνω. Αλλά ας δούμε τώρα γιατί;

Αυτή καθ’ αυτή η πειραματική καμπύλη $\Delta T = \Delta T(\vartheta)$ δεν είναι τίποτε άλλο παρά μία ακριβής Replica της πρό **είκοσαετίας** προβλεφθείσας καμπύλης από το Κοσμικό Πληθωριστικό Μοντέλο! Επιπλέον, όπως βλέπουμε από την 3), ζούμε σε ένα επίπεδο ή “Ευκλείδειο Σύμπαν”, όπως είχε προβλεφθεί δυναμικά από το Πληθωριστικό Μοντέλο. Όπως συζητήσαμε πιο πάνω, ένα επίπεδο ή Ευκλείδειο Σύμπαν συνεπάγεται αυτόματα ότι η ολική ενέργεια $E_{ολ} = 0$ που μας απαλλάσσει από το πρόβλημα της προέλευσης του ενεργειακού υπολοίπου αλλά και καθιστά μέσω της άρχης διατηρήσεως της ενέργειας, έφικτη τη δυνατότητα προέλευσης του Σύμπαντος από το “τίποτα” ($E_{ολ} = 0$) μέσω μιας τυχαίας κβαντικής διακύμανσης. Επιπλέον, όπως μας ενημερώνει η 6), οι **τυχαίες** κοσμικές διακυμάνσεις της ενεργειακής πυκνότητας είναι ανεξάρτητες του μήκους κύματος, χαρακτηριστικής προβλέψεως του Κοσμικού Πληθωριστικού Μοντέλου.

Επίσης, όπως μας ενημερώνει η 7), η πρό πολλού προβλεφθείσα “πόλωση” της Κοσμικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου από το Κοσμικό Πληθωριστικό Μοντέλο είναι πλέον γεγονός. Μεγάλης σπουδαιότητας είναι το γεγονός ότι όχι

μόνο $\Omega_0 = 1$, αλλά και οί συγκεκριμένες τιμές των διαφόρων συνιστωσών που “κτιζούν” το Ω_0 . Έτσι βλέπουμε ότι η τιμή της παραμέτρου (6) αποτελείται από 27% “μάζα” ($\Omega_M = 0.27$) και 73% “Σκοτεινή Ενέργεια” ($\Omega_{DE} \approx 0.73$)! Είναι συναρπαστικό ότι ο λόγος Ω_M αποτελείται μόνο (5) από 4% συνηθισμένης ύλης (πρωτόνια, νετρόνια,...) που ονομάζουμε “βαρυόνια” ($\Omega_B \approx 0.04$), ενώ το υπόλοιπο 23% αποτελείται από Σκοτεινή Ύλη ($\Omega_{DM} \approx 0.23$)!

Είναι αξιοσημείωτο ότι η τιμή $\Omega_B \approx 0.04$ είναι ακριβώς όπως έχει προσδιοριστεί από έντελως ανεξάρτητες μετρήσεις που έχουν να κάνουν με τη δημιουργία των “ελαφρών” στοιχείων (H, ^4He , D, ^7Li) μέσω της “πρωταρχικής πυρηνοσύνθεσης”, ακρογωνιαίου λίθου του κλασσικού κοσμολογικού μοντέλου της Μεγάλης Έκρηξης, που υιοθετείται αυτόματα από το Κοσμολογικό Πληθωριστικό Μοντέλο. Δεν ξέρουμε ακόμη ξεκάθαρα τη φύση της Σκοτεινής Ύλης αλλά η πιο παραδεκτή σήμερα θεωρία, είναι η θεωρία που πρότεινα το 1983 μαζί με τον John Ellis, John Hagelin, Keith Olive και Mark Srednicki, που προσδιορίζει ότι η Σκοτεινή Ύλη δεν είναι τίποτε άλλο παρά τα neutralinos, τα ελαφρότερα δυνατά σωματίδια των Υπερσυμμετρικών ένοποιημένων θεωριών. Οί Υπερσυμμετρικές ένοποιημένες θεωρίες είναι *αναπόσπαστο κομμάτι* των Μεγάλων Ένοποιημένων θεωριών όπως αυτές προέρχονται από τις Υπερχορδές. Χαρακτηριστικά αναφέρω εδώ ότι, όπως έχουμε δείξει τελευταία με το συνεργάτη μου Θανάση Λαχανά, η τιμή του λόγου Ω_{DM} (5) περιορίζει σχεδόν ασφυκτικά τον επιτρεπόμενο χώρο παραμέτρων των Υπερσυμμετρικών θεωριών και κάνει σχεδόν επιτακτική την ανάγκη ανιχνεύσεως των προβλεπόμενων νέων υπερσυμμετρικών σωματιών συμπεριλαμβανομένων και των neutralinos, στο πολύ έγγυς μέλλον. Σήμερα βρίσκονται σε εξέλιξη δεκάδες πειράματα σε όλο τον κόσμο που προσπαθούν να ανιχνεύσουν τα neutralinos, των οποίων η έμμεση ύπαρξη επιβεβαιώθηκε από τις WMAP παρατηρήσεις και η άμεση επιβεβαίωσή τους θα είναι ένα εξαιρετικό “τονωτικό” για τη θεωρία των Υπερχορδών. Ενώ η κατάσταση με τη “Σκοτεινή Ύλη” είναι κατά κάποιο τρόπο “υπό έλεγχο”, δεν συμβαίνει το ίδιο με την κατάσταση της “Σκοτεινής Ενέργειας” που αποτελεί το 73% της ολικής ενεργειακής πυκνότητας του Σύμπαντος! Τί συμβαίνει εδώ; Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η WMAP παρατήρηση ($\Omega_{DE} \approx 0.73$) επαλήθευσε μια πρό ολίγων (έξι) ετών παρατήρηση που έχει σχέση με τους Supernovae Ia (SNIa). Πράγματι, παρατηρώντας κανείς τη λαμπρότητα μακρινών και κοντινών SNIa, μπορεί να υπολογίσει την απόσταση των μακρινών SNIa και άρα να υπολογίσει την επιβράδυνση στη διαστολή του Σύμπαντος κατά το χρόνο που

κάνανε τα SnIa φωτόνια να φθάσουν στη γη. Το μεγάλο πρόβλημα που δημιουργήθηκε ήταν ότι οι μακρινοί SnIa ήταν λιγότερο λαμπεροί από ό,τι έπρεπε αν το Σύμπαν επιβραδυνόταν, που σημαίνει ότι ήταν σε πολύ μεγαλύτερη απόσταση από την “ανάμενόμενη”, που σημαίνει ότι μια καινούργια **Κοσμική Δύναμη** αντίρροπη της βαρύτητας (αντιβαρύτητα;) **επιταχύνει** το Σύμπαν! Ποιά είναι ή φύση όμως αυτής της καινούργιας Δυνάμεως; Η πιο άπλη εξήγηση έχει δοθεί, **κατὰ λάθος!**, από τον Einstein το 1917 και καλείται **Κοσμολογική Σταθερά**.

Ο Einstein παρατήρησε τότε, το 1917, ότι οι εξισώσεις της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας προβλέπουν ένα διαστελλόμενο ή συστελλόμενο Σύμπαν, που ήταν λάθος σύμφωνα με τα γνωστά της εποχής. Η διαστολή του Σύμπαντος ανακαλύφθηκε από τον Hubble μόλις το 1929. Έτσι λοιπόν εισήγαγε την **Κοσμολογική Σταθερά Λ** για να δημιουργήσει ένα **στατικό** Σύμπαν, έτσι ώστε ή Κοσμολογική Σταθερά να δρᾷ ἐναντίον της βαρύτητας και να δημιουργείται άμεσα από αυτή την ισορροπία δυνάμεων ένα στατικό Σύμπαν. Μετά το 1929, ο Einstein ονόμασε την Κοσμολογική Σταθερά, την μεγαλύτερη γκάφα της ζωής του! Βλέπουμε όμως σήμερα ότι τελικά χρειαζόμαστε την Κοσμολογική Σταθερά για να προκαλέσει, όχι το μηδενισμό, αλλά την **επιτάχυνση** στη διαστολή του Σύμπαντος! Ίσως τελικά, ο Einstein έκανε πολύ μεγαλύτερη γκάφα από ό,τι νόμιζε, δηλαδή να απαρνηθεί την Κοσμολογική Σταθερά! Η Κοσμολογική σταθερά, σε σύγχρονους όρους, εξηγείται σαν μία ενεργειακή πυκνότητα κενού (ρ_{vac}) που αντιστοιχεί σε ένα Ω_{vac} που ταυτοποιούμε με το Ω_{DE} , $\Omega_{vac} \equiv \Omega_{DE} \approx 0.73$. Μέχρι τελευταία υπήρχαν και άλλες εξηγήσεις πέραν της Κοσμολογικής Σταθεράς, αλλά πολύ πρόσφατες μετρήσεις Supernovae Ia με το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble, επιβεβαιώνουν την ύπαρξη της Κοσμολογικής Σταθεράς, απορρίπτοντας άλλες απόψεις, και μάλιστα προσδιορίζουν ότι η μετάβαση από την αρχικά επιβραδυνόμενη στην τωρινή επιταχυνόμενη φάση συνέβη, όταν ή διάσταση του Σύμπαντος ήταν **1,5 φορές** μικρότερη της σημερινής του διάστασης. Επιθυμώ να αναφέρω εδώ ότι πριν περίπου 10 χρόνια, με το συνεργάτη μου Jorge Lopez, αναλύοντας καινούργια τότε αποτελέσματα από το τηλεσκόπιο Hubble, σχετικά με την ηλικία του Σύμπαντος, αναγκαστήκαμε να επανεισαγάγουμε την Κοσμολογική Σταθερά και προσδιορίσαμε συγκεκριμένες τιμές των διαφόρων συνιστωσών του Ω_0 , όχι διαφορετικές από αυτές που μετρήθηκαν από το WMAP και Supernovae Ia.

Είναι ξεκάθαρο ότι βρισκόμαστε ήδη στο ξεκίνημα του “χρυσού αιώνα” της Κοσμολογίας και στην αρχή μιας Επιστημονικής Επαναστάσεως, ίσως

πιό σημαντικής ακόμη και αυτής που μάς πέρασε από το γεωκεντρικό στο ηλιοκεντρικό σύστημα!

Το ανθρώπινο είδος συνεχίζει το “ταξίδι” του στην άεναη ροή του χρόνου αλλά με μία πολύ πιο βαθιά κατανόηση των αληθινών, φυσικών δυνάμεων που δημιουργούν το πεπρωμένο μας.

Σημείωση: Για περισσότερες λεπτομέρειες, τεχνικής φύσεως, που άφο-
ρουν τις παρατηρήσεις του **WMAP** όπως επίσης, το θεωρητικό υπόβαθρο του
Κοσμικού Πληθωριστικού Μοντέλου και των Υπερσυμμετρικών Ένοποιημέ-
νων Θεωριών, και για έκτενη βιβλιογραφία παραπέμπουμε στην πρόσφατη πολυ-
σέλιδη εργασία μας:

“WMaping the Universe: Supersymmetry, Dark Matter, Dark Energy,
Proton decay and Collider Physics” A. Lahanas, N. Mavromatos and D.V.
Nanopoulos, Int. J. Mod. Phys **D12**, 1529 (2003), (ArXiv: hep-ph/
0308251)