

ΕΚΤΑΚΤΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 24ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2000

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΑΡΤΕΜΙΑΔΟΥ

Ε Π Ι Σ Η Μ Η Υ Π Ο Δ Ο Χ Η
ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ
Κ. ΔΗΜΟΣΘΕΝΟΥΣ ΚΑΖΑΝΑ

ΧΑΙΡΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΕΔΡΟΥ Κ. ΝΙΚ. ΑΡΤΕΜΙΑΔΟΥ

Ἄγαπητὲ Κύριε Καζάνα,

Μὲ ιδιαίτερη χαρὰ σᾶς ὑποδέχεται ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ὑπὸ τὴν ιδιότητά σας ὡς ἀντεπιστέλλοντος μέλους αὐτῆς.

Εἰσέρχεσθε στὸ Ἀνώτατο Πνευματικὸ Ἰδρυμα τῆς χώρας ὕστερα ἀπὸ μακρὰ ἐπιστημονικὴ σταδιοδρομία.

Ἀποφοιτήσατε ἀρχικὰ ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης τὸ 1973 μὲ βαθμὸ πτυχίου «Ἀριστα».

Ἐν συνεχείᾳ ἀποκτήσατε τὸ πτυχίον MSc (1975) καὶ ἀκολούθως τὸ PhD (1978), ἀμφότερα ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Σικάγου τῶν ΗΠΑ.

Ἡ ἐπαγγελματικὴ σας σταδιοδρομία ἀρχίζει ἐπίσης ἀπὸ τὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Σικάγου ὅπου ὑπηρετήσατε ὡς Teaching Assistant κατὰ τὰ ἔτη 1973-75.

Διατελέσατε Research Associate τῆς National Academy of Sciences (1980-1982) καθὼς καὶ τοῦ Πανεπιστημίου τοῦ Maryland (1982-1988).

Ἐκτοτε ἐργάζεσθε ὡς ἐρευνητῆς στὸ Goddard Space Flight Center τῆς NASA.

Εὐρεῖα εἶναι ἡ ἀναγνώριση τοῦ ἔργου σας στὸν Ἐπιστημονικὸ τομέα. Ἔχετε δώσει περισσότερες ἀπὸ πενήντα «προσκεκλημένους ὁμιλίες» (invited lectures) σὲ συνέδρια, πανεπιστήμια καὶ ἐρευνητικὰ κέντρα.

Δύο ἐργασίες σας μὲ θέμα τῆ «Βαρύτητα» ἔχουν βραβευθεῖ.

Τὸ πλῆθος τῶν ἐρευνητικῶν σας ἐργασιῶν σὲ διεθνῆ περιοδικὰ ἢ καὶ σὲ διεθνῆ συνέδρια ἀνέρχεται περίπου στὸν ἀριθμὸ ἑκατό.

Δὲν θὰ προχωρήσω ὅμως σὲ περισσότερες λεπτομέρειες. Θὰ ἤθελα μόνο νὰ προσθέσω ὅτι εἴσθε γνωστὸς στὴν ἐπιστημονικὴ κοινότητα κυρίως γιὰ τὴ λεγόμενη «*Θεωρία τοῦ Πληθωριστικοῦ Σύμπαντος*», μία θεωρία ποὺ ἐσεῖς πρῶτος διατυπώσατε τὸ 1980. Οἱ πρόσφατες παρατηρήσεις (ποὺ ἀνακοινώθηκαν τὸ ἔτος 2000) φαίνεται ὅτι τείνουν νὰ ὑποστηρίζουν τὴ θεωρία αὐτή, ἢ ὁποῖα ἐξ ὅσων πληροφοροῦμαι θεωρεῖται ἕνα πολὺ σημαντικὸ βῆμα στὴν ἐξέλιξη τῆς Κοσμολογίας τὰ τελευταῖα χρόνια.

Στὸ ἔργο σας θὰ ἀναφερθεῖ ἀναλυτικώτερα ὁ συνάδελφος κ. Κοντόπουλος, ὁ ὁποῖος ὀρίσθηκε ἀπὸ τὴν Τάξη τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν νὰ σᾶς προσφωνήσει.

Κύριε Δημοσθένη Καζάνα

Σᾶς καλωσορίζομε στοὺς κόλπους τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν μὲ τὴν εὐχὴ νὰ ἐνισχύσετε καὶ ἀπὸ τὴ θέση αὐτὴ τὴν ἐπιστήμη ποὺ ὑπηρετήσατε ἕως σήμερα μὲ ἐπιτυχία καὶ ἀρετή.

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΥ

Εἶμαι εὐτυχῆς γιατί ἔχω τὴν τιμὴ νὰ παρουσιάσω σήμερα τὸ νέο ἀντεπιστέλλον μέλος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν κ. Δημοσθένη Καζάνα.

Δὲν εἶναι ὑπερβολὴ νὰ πῶ ὅτι ὁ κ. Καζάνας εἶναι ὁ πλέον διακεκριμένος Ἕλληνας τοῦ ἐξωτερικοῦ στὸν τομέα τῆς Ἀστροφυσικῆς. Εἶναι αὐτὸς ποὺ πρότεινε πρῶτος τὸ 1980 τὸ «*πληθωριστικὸ μοντέλο τοῦ Σύμπαντος*».

Ἡ θεωρία αὐτὴ ἀποδίδεται ἀπὸ πολλοὺς στὸν A. Guth τοῦ Massachusetts Institute of Technology (1981), ἀλλὰ τὰ βασικὰ στοιχεῖα τῆς θεωρίας εἶχαν δημοσιευθεῖ ἕνα χρόνο προηγουμένως (1980) στὸ περιοδικὸ Astrophysical Journal Letters ἀπὸ τὸν κ. Καζάνα.

Ἡ θεωρία τοῦ πληθωριστικοῦ σύμπαντος ἀποτελεῖ ἕνα ἀπὸ τοὺς πιὸ ζωντανούς κλάδους τῆς συγχρόνου Κοσμολογίας καὶ πάρα πολλοὶ ἀστροφυσικοὶ καὶ φυσικοὶ ὑψηλῶν ἐνεργειῶν ἐργάζονται σ' αὐτήν.

Ἡ βασικὴ ἰδέα τοῦ Καζάνα εἶναι ὅτι κατὰ τὴ μεγάλη ἐνοποίηση GUT (= Grand Unified Theory), ὅταν ἡ ἡλικία τοῦ Σύμπαντος ἦταν 10^{-35} sec, ἔγινε μία ἀλλαγὴ φάσεως τοῦ Σύμπαντος κατὰ τὴν ὁποία ἀπελευθερώθηκε ἕνα τεράστιο ποσὸ ἐνέργειας ποὺ προκάλεσε μία ἐκθετικὴ διαστολὴ κατὰ ἕνα παράγοντα τῆς τάξεως

του 10^{100} . Αυτή η φάση ονομάστηκε «φάση de Sitter» από τον Καζάνα (γιατί το μοντέλο de Sitter προβλέπει μια έκθετική διαστολή) και αργότερα ονομάστηκε «πληθωρισμός» από τον Guth, και είναι γνωστή έκτοτε με αυτό το όνομα.

Σήμερα όμως είναι γενικά γνωστό ότι ο Καζάνας προηγήθηκε του Guth στη διατύπωση της θεωρίας αυτής (Ίδ. π.χ. το κλασικό βιβλίο του κορυφαίου κοσμολόγου J.P.I.E. Peebles «Principles of Physical Cosmology» Princenton University Press 1993). Έξ' άλλου στο περιοδικό Mercury του 'Απριλίου 1987 αναφέρεται ότι ο κ. Καζάνας προηγήθηκε του Guth στη θεωρία του πληθωρισμού και δημοσιεύεται φωτοτυπία της περιλήψεως του άρθρου του κ. Καζάνα στο Astrophysical Journal Letters του 1980. 'Επίσης ο A. Guth σε ένα πρόσφατο βιβλίο του (1997) «The Inflationary Universe; the quest for a new theory of cosmic origin», παραδέχεται ότι παρέλειψε να αναφέρει το σχετικό έργο του κ. Καζάνα και άλλων και ζητεί συγγνώμη για αυτό.

Πριν από λίγους μήνες ανακοινώθηκαν τὰ αποτελέσματα δύο σειρών παρατηρήσεων της ακτινοβολίας μικροκυμάτων που προέρχεται από το αρχικό Σύμπαν. Οί παρατηρήσεις έγιναν με μπαλόνια σε μεγάλο ύψος από το Νότιο Πόλο (πρόγραμμα Boomerang) και από το Texas (πρόγραμμα Maxima). Αυτές οί παρατηρήσεις τείνουν να έπαληθεύσουν το πληθωριστικό μοντέλο του Σύμπαντος, και αυτό αποτελεί μια πολύ σημαντική συμβολή στην Κοσμολογία.

'Αλλά το έργο του κ. Καζάνα είναι ευρύτατο και δέν περιορίζεται στον πληθωρισμό. Έχει εργασθεί σε θέματα Γενικής Σχετικότητας και Κοσμολογίας, σε θέματα ακτίνων γ και X του διαστήματος, σε θέματα κβάζαρς και ένεργων πυρήνων γαλαξιών, σε θέματα μελανών όπών (black holes), σε θέματα μαγνητούδρονουαμικής και πάλσαρς, και σε άλλα θέματα αστροφυσικής με ιδιαίτερη έπικαιρότητα.

Το κύριο προσόν του κ. Καζάνα είναι ότι γνωρίζει καλά τόσο την 'Αστροφυσική όσο και τή Φυσική 'Υψηλών Ένεργειών, και μπορεί να συνδυάζει τους δύο αυτούς κλάδους, ώστε να αντιμετώπιζει πολλά από τὰ πιό σύγχρονα προβλήματα της 'Αστροφυσικής και της Κοσμολογίας. 'Ως παραδείγματα αναφέρω τὰ έξής:

α) Τή θεωρία του της Conformal Gravity, που γενικεύει τή Γενική Σχετικότητα του Einstein. 'Η θεωρία αυτή συζητείται πολύ σήμερα.

β) Τή θεωρία του των Ένεργων Πυρήνων Γαλαξιών (Active Galactic Nuclei, AGN). Στους γαλαξίες αυτούς παρουσιάζεται μια τεράστια παραγωγή ένεργειας και πολλές σχετικές μελέτες έχουν γίνει μέχρι σήμερα. 'Ομως οί μελέτες αυτές προσπαθούν να έξηγήσουν τὰ έπί μέρους χαρακτηριστικά του φάσματος και της καμπύλης φωτός των AGN με έπί μέρους διεργασίες σε διάφορα μέρη του

πυρήνος, στο δίσκο, στο στέμμα, στα κύματα κρούσεως κ.λπ. Ο κ. Καζάνας έδωσε ένα απλό μοντέλο, με πυκνότητα που ακολουθεί μιá δύναμη τής απόστάσεως (power law), που εξηγεί τὰ περισσότερα παρατηρούμενα χαρακτηριστικά τών AGN συγχρόνως. Η θεωρία αυτή δείχνει μιá βαθειά κατανόηση τών φαινομένων που συμβαίνουν στα κέντρα τών γαλαξιών αυτών (παραγωγή ενεργείας, μεταφορά ενεργείας, μαγνητοϋδροδυναμική συμπεριφορά, έκροή ύλης με σχετικιστικές ταχύτητες κ.λπ.).

γ) Τη θεωρία του για την παραγωγή σχετικιστικών πρωτονίων από νετρόνια που δημιουργούνται σε πυρηνικές αντιδράσεις στους πυρήνες ώρισμένων γαλαξιών.

Γενικά ο κ. Καζάνας είναι στο επίκεντρο πολλών σημαντικών εξελίξεων στην Άστροφυσική τών Ύψηλών Ένεργειών.

Παρ' όλη τη μικρή του σχετικά ηλικία (γεννήθηκε τó 1950), έχει ένα σημαντικό δημοσιευμένο έργο. Έχει περίπου 100 δημοσιεύσεις σε πολύ καλά περιοδικά του έξωτερικού και σε πρακτικά διεθνών συνεδρίων. Υπάρχουν περίπου χίλιες αναφορές στο έργο του και έξαιρετικές κρίσεις για τις έργασίες του.

Για τούς λόγους αυτούς ή Άκαδημία Άθηνών τον έτιμησε εκλέγοντάς τον άντεπιστέλλον μέλος της.

Τόν καλωσορίζω λοιπόν με ιδιαίτερη χαρά και του εύχομαι πλούσια συνέχεια και έπιτυχία στο έπιστημονικό του έργο.

ΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ, ΤΟ ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΕΣΤΕΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ Κ. ΔΗΜΟΣΘΕΝΗ ΚΑΖΑΝΑ

Ἀξιότιμε κ. Πρόεδρε,

Ἀξιότιμοι κύριοι Ἀκαδημαϊκοί, κυρίες καὶ κύριοι,

Πρὶν ἀρχίσω τὴν ὁμιλία μου θὰ ἤθελα νὰ εὐχαριστήσω καὶ δημοσίᾳ αὐτοὺς ποὺ συνέβαλαν στὸ νὰ βρισκομαι ἀπόψε ἐδῶ.

Κατ' ἀρχὴν θὰ ἤθελα νὰ εὐχαριστήσω τὴν Ἀκαδημία γιὰ τὴν τιμὴ ποὺ μοῦ ἔκανε μὲ τὴν ἐκλογὴ αὐτή. Εἶναι μιὰ πραγματικὴ πηγὴ ὑπερφάνειας καὶ καταξιώσεως τόσο γιὰ μένα ὅσο καὶ γιὰ ὅλη τὴν οἰκογένειά μου. Ἰδιαιτέρες εὐχαριστίες θὰ ἤθελα νὰ δώσω στὴν εἰσηγητικὴ μου ἐπιτροπὴ ἀποτελουμένη ἀπὸ τοὺς κ.κ. Κοντόπουλο, Νανόπουλο καὶ Ἀλεξόπουλο γιὰ τὴν πρωτοβουλία τους καὶ εἰδικὰ στοὺς κ.κ. Κοντόπουλο καὶ Νανόπουλο ποὺ, κατὰ τὶς πληροφορίες ποὺ ἔχω, ἀναφέρονται συχνὰ σὲ μιὰ πρὸ εἰκοσαετίας ἐργασία μου, ἡ ὁποία ἐξηγεῖ τὴν ὁμοιογένεια τοῦ Σύμπαντος.

Ἰδιαιτέρη εὐγνωμοσύνη ὀφείλω στοὺς Πανεπιστημιακοὺς δασκάλους μου, τὸν πρὸ τριακονταετίας καθηγητὴ μου τῆς Ἀστρονομίας στὸ Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης κ. Κοντόπουλο, ὁ ὁποῖος ὄχι μόνον ἐδραίωσε τὴν ἀγάπη μου γιὰ τὴν Ἀστρονομία, ἀλλὰ καὶ ἐξακολούθησε νὰ παρακολουθεῖ ἀπὸ κοντὰ καὶ νὰ ἐνδιαφέρεται γιὰ τὴν ἔρευνά μου ὅλα αὐτὰ τὰ χρόνια, καθὼς καὶ τὸν καθηγητὴ μου κ. Περσίδη γιὰ τὴ συμβολὴ του στὰ ἀρχικὰ στάδια τῆς σταδιοδρομίας μου.

Ἐπειδὴ ὡς ἓνα σημεῖο εἴμαστε αὐτὸ ποὺ εἴμαστε γιὰτὶ ζοῦμε μ' αὐτοὺς ποὺ ζοῦμε, θὰ ἤθελα νὰ εὐχαριστήσω τὴν οἰκογένειά μου (τόσο τὴν ἐν Ἀμερικῇ —τὴ γυναίκα μου καὶ τὸ γιό μου— ὅσο καὶ τὴν ἐν Ἑλλάδι —ὄλους τοὺς λοιποὺς) γιὰ τὴν ἠθικὴ, πνευματικὴ καὶ ὕλική τους συμπαράσταση κατὰ τὰ τελευταῖα 50 χρόνια! Ξεχωριστὰ θὰ ἤθελα νὰ εὐχαριστήσω τοὺς γονεῖς μου καὶ ἰδιαιτέρα τὴ μητέρα μου, ποὺ ἔχει τὴν εὐτυχία νὰ εἶναι παροῦσα στὸ ἀκροατήριον, καὶ ἡ ὁποία διὰ τῆς χρήσεως τοῦ λόγου της (κυρίως, καὶ τῆς ράβδου ἐνίοτε) πραγματοποίησε τὶς ἀναγκαῖες διορθώσεις στὴν τροχιά τῆς ζωῆς μου ὥστε νὰ φθάσω ὡς ἐδῶ. Τέλος θὰ ἤθελα νὰ εὐχαριστήσω ὅλους τοὺς φίλους, γνωστοὺς καὶ ἀγνωστοὺς ποὺ ἤλθαν νὰ μὲ ἀκούσουν ἀπόψε.

Καὶ τώρα ἔρχομαι στὸ θέμα τῆς ὁμιλίας μου «Τὸ παρελθόν, τὸ παρὸν καὶ τὸ μέλλον τῆς Κοσμολογίας».

Είσαγωγή

Κοσμολογία είναι ή επιστήμη πού ασχολεῖται με την προέλευση, δομή και εξέλιξη τοῦ Σύμπαντος σάν ὅλου. Ἔτσι μερικά ἀπό τὰ ἐρωτήματα τῆς κοσμολογίας δὲν εἶναι ἄλλα ἀπὸ τὰ ὄντολογικὰ ἐρωτήματα τῆς ὑπάρξεως. Συνεπῶς τὰ ὄρια τῆς κοσμολογίας φτάνουν στήν φιλοσοφία. Δὲν εἶναι παράξενο λοιπὸν τὸ ὅτι διάφορες «κοσμολογικὲς θεωρίες» συναντῶνται σὲ ὅλες τὶς ἐποχὲς καὶ πολιτισμούς.

Θὰ ἤθελα νὰ ἐπισημάνω ἐδῶ τὴν ξεχωριστὴ θέση τῶν Ἑλλήνων φυσικῶν φιλόσοφων σάν κοσμολόγων (Παρμενίδης, Δημόκριτος). Αὐτοί, με μόνη τὴ δύναμη τοῦ λόγου, κατάφεραν νὰ φθάσουν ὡς ἓνα μεγάλο βαθμὸ στὴν οὐσία τῆς δομῆς τοῦ κόσμου ὅπως τὴν καταλαβαίνουμε σήμερα, 2000 χρόνια ἀργότερα.

Ἄσκοπὸς τῆς ὀμιλίας μου ὅμως δὲν εἶναι ἡ ἱστορικὴ καὶ πολιτισμικὴ ἀνασκόπηση τῶν κοσμολογικῶν θεωριῶν. Ἄσκοπός μου εἶναι νὰ δώσω μιὰ γεύση γιὰ τὸ status τῆς σημερινῆς κοσμολογίας, τὰ προβλήματα πού ἔχει ἀπαντήσει, τὰ προβλήματα πού ἀπασχολοῦν τοὺς κοσμολόγους σήμερα καὶ τὴν κατεύθυνση τὴν ὁποία περιμένω νὰ ἀκολουθήσει στὸ προσεχὲς καὶ ἀπώτερο μέλλον. Νὰ δείξω ὅτι ἡ κοσμολογία ἔχει ἀναχθεῖ σὲ πραγματικὴ ἐπιστήμη, με πειράματα, μετρήσεις καὶ προβλέψεις μεγάλης ἀκριβείας πού χρησιμεύουν στὸ νὰ ἐπαληθεύουν ἢ νὰ καταρρίπτουν θεωρίες. Γιὰ νὰ πετύχω ὅμως τὸν σκοπὸ αὐτό, θὰ πρέπει νὰ παρακολουθήσουμε τὴν εξέλιξη τῶν ἰδεῶν ὄχι μόνον τῆς κοσμολογίας ἀλλὰ ὅλης τῆς φυσικῆς. Θὰ θεωρήσω στὴν ἀπόπειρα αὐτὴ ὅτι τὸ κοινὸ θυμᾶται τὴ φυσικὴ πού ἔμαθε στὸ γυμνάσιο καὶ θὰ προσπαθῶ νὰ εἰσαγάγω ὅλες τὶς ὑπόλοιπες ἔννοιες ὅσο ἀπλὰ γίνεται. Κατὰ τὴ γνώμη μου τὸ πρόβλημα δὲν ἔγκειται τόσο στὴ δυσκολία κατανοήσεως αὐτῶν τῶν ἐνοιῶν ὅσο στὸν ἀριθμὸ τους, γιὰ κάποιον πού δὲν τὶς ἔχει ξανακούσει.

1. Τὸ παρελθὸν (17ος αἰὼν - 1929)

Ἡ βασικὴ δύναμη πού διέπει τὸν κόσμον στὶς μεγάλες ἀποστάσεις εἶναι ἡ βαρύτητα. Ἡ βαρύτητα εἶναι ἡ ἀσθενέστερη ἀπὸ ὅλες τὶς Θεμελιώδεις Ἀλληλεπιδράσεις, ἀλλὰ ἔχει τὸ πλεονέκτημα νὰ εἶναι ἑλκτικὴ σὲ ὅλες τὶς κλίμακες, καὶ τελικὰ, νὰ εἶναι ἡ δύναμη πού καθορίζει τὰ περισσότερα ἀστροφυσικὰ φαινόμενα, καὶ ἰδιαίτερα τὴ δυναμικὴ τοῦ Σύμπαντος. Κοσμολογία συνεπῶς εἶναι ἀδύνατη χωρὶς μιὰ θεωρία βαρύτητας. Ἡ κοσμολογία ἀρχίζει οὐσιαστικὰ με τὸν Νεύτωνα.

Κατὰ τὴν Νευτώνεια θεωρία ὁ Χῶρος καὶ ὁ Χρόνος εἶναι ἄπειροι καὶ ἀπῶλυτοι, δηλαδὴ ὅλοι οἱ παρατηρηταὶ μετροῦν τὴν ἴδια ἀπόσταση καὶ χρονικὴ διαφορά

μεταξύ δύο γεγονότων. Με την ανακάλυψη του νόμου της βαρύτητας, ο Νεύτων έπεκτείνοντας την αρχή των Κοπερνίκου - Αριστάρχου, ότι οι γήινοι παρατηρητές δεν κατέχουν προνομιοῦχο θέση στο Σύμπαν, θεώρησε τη δυναμική μίας ομογενοῦς κατανομῆς ὕλης ἀπεριόριστων διαστάσεων και ἀνεγνώρισε ότι εἶναι ἀσταθῆς στο σχηματισμὸ ἀνομοιογενειῶν διαρκῶς αὐξανόμενης μάζας. Τὴν ἐποχὴ τοῦ Νεύτωνα ὅμως, οἱ παρατηρήσεις σχετικὰ μὲ τὴν κατανομὴ ὕλης και τὶς διαστάσεις τοῦ Σύμπαντος ἦταν πολὺ περιορισμένες γιὰ τὴ διατύπωση μίας κοσμολογικῆς θεωρίας (παρατηρήσεις τοῦ Ἡλιακοῦ συστήματος).

Ἡ Νευτώνεια βαρύτητα ξεκινᾷ μὲ τὸν ὀρισμὸ τῆς δυνάμεως τῆς βαρύτητας μεταξὺ δύο σωμάτων μάζης m_1 και m_2 ποὺ δίνεται ἀπὸ τὸν γνωστὸ τύπο τοῦ Νεύτωνα

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (1)$$

ὅπου G εἶναι ἡ σταθερὰ τοῦ Νεύτωνα και r ἡ μεταξὺ τους ἀπόσταση. Μία χρησιμὴ ἔννοια ποὺ ἀπορρέει ἀπὸ τὴν δυνάμη εἶναι αὐτὴ τῆς δυναμικῆς ἐνέργειας ποὺ εἶναι ἡ ἐνέργεια ποὺ παράγεται ἀπὸ τὴν δυνάμη ἑλξῆς τῶν δύο αὐτῶν μάζων

$$PE = \vec{F} \cdot \vec{r} = \frac{Gm_1m_2}{r} \quad (2)$$

Τὰ 200 περίπου χρόνια ποὺ ἀκολούθησαν τὴν διατύπωση τοῦ νόμου τῆς Νευτώνειας βαρύτητας ἐπιβεβαίωσαν μὲ ἐντυπωσιακὸ τρόπο τὶς προβλέψεις της και τὴν καθιέρωσαν σὰν ἕναν ἀπὸ τοὺς θεμελιώδεις κλάδους τῆς φυσικῆς. Ἡ κοσμολογία ὅμως προχώρησε μὲ σχετικὰ βραδὺ ρυθμὸ. Ἡ ἀρένα τῆς κοσμολογίας εἶναι τὸ Σύμπαν και οἱ παρατηρήσεις στο διάστημα αὐτὸ περιορίζονταν κατὰ μέγα μέρος στο Ἡλιακὸ σύστημα. Παρ' ὅλα αὐτά, ἡ ἐπιτυχία τῆς Νευτώνειας βαρύτητας εἶχε φιλοσοφικὲς - κοσμογονικὲς προεκτάσεις: Ὁ Laplace π.χ. παρομοίασε τὸ (γνωστὸ τότε) σύμπαν μὲ ἕνα τεράστιο ὰρολογιακὸ μηχανισμὸ ποὺ κινεῖται μὲ τὴν ἀκρίβεια και νομοτέλεια ποὺ καθόρισε ὁ Νεύτων. Μέχρι τὰ τέλη τοῦ 19ου αἰῶνα ἐθεωρεῖτο ὅτι τὸ Σύμπαν περιορίζεται στὸν γαλαξία μας. Τὰ τηλεσκόπια ἦταν σὲ θέση νὰ διακρίνουν ἄλλους γαλαξίες ἀλλὰ ἡ ἔλλειψη μέτρων ἀποστάσεων δὲν μποροῦσε νὰ καθορίσει ἂν αὐτοὶ ἦταν πραγματικὰ ἐνδο- ἢ ἔξω-γαλαξιακὰ ἀντικείμενα (ἂν και ὁ Kant εἶχε διατυπώσει τὴν ἄποψη ὅτι τὰ νεφελώματα αὐτὰ εἶναι γαλαξίες σὰν τὸν δικὸ μας).

Ὁ πρῶτος ἴσως συλλογισμὸς κοσμολογικῆς ὕφῆς εἶναι αὐτὸς τοῦ Olbers (1826) ὁ ὁποῖος παρατήρησε ὅτι ἂν τὸ Σύμπαν εἶναι πραγματικὰ ἄπειρο, ἀμετάβλητο και ὀμογενές, ὁ οὐρανὸς θὰ πρέπει νὰ εἶναι πάντα φωτεινὸς διότι ἡ μκτιά μας

πάντα θά συναντᾶ κάποιο ἄστρο. Ἡ φωτεινότητα τοῦ οὐρανοῦ θά ἦταν τότε ἡ ἴδια με αὐτὴν τῆς ἐπιφάνειας τῶν ἀστέρων. Τὸ ὅτι ὁ οὐρανὸς εἶναι σκοτεινὸς σημαίνει λοιπὸν ὅτι ἢ τὸ Σύμπαν δὲν εἶναι ἄπειρο, ἢ ἂν εἶναι ἄπειρο σὲ ἕκταση δὲν εἶναι ἀπείρου ἡλικίας ὥστε τὸ φῶς τῶν περισσοτέρων ἀστέρων δὲν ἔχει φθάσει ἀκόμη στὴν Γῆ (τελικὰ ἢ ματιὰ τῶν παρατηρητῶν συναντᾶ πάντα ὕλη πού ἀκτινοβολεῖ, ἀλλὰ αὐτὴ ἢ ἀκτινοβολία δὲν εἶναι ἄλλη ἀπὸ τὴν διάχυτο ἀκτινοβολία τῶν 3 K, παράγραφος 1,2α).

Ἡ κοσμολογία οὐσιαστικὰ γεννήθηκε ὡς ἀπόρροια τῶν ἐξελίξεων τῆς φυσικῆς τοῦ τέλους τοῦ 19ου καὶ ἀρχῆς τοῦ 20οῦ αἰώνα. Αὐτὲς εἶναι οἱ ἐξῆς (ἔχι με ἱστορικὴ σειρά):

1. Ἡ ἀνακάλυψη φασματικῶν γραμμῶν ἐκπομπῆς τῶν διαφόρων στοιχείων.
2. Ἡ ἀνακάλυψη τῆς σχέσης λαμπρότητας — περιόδου τῶν κηφειδῶν ἀστέρων πού ἐπέτρεψε τὸν καθορισμὸ τῆς κλίμακας τῶν ἀστρονομικῶν ἀποστάσεων.
3. Τὸ τηλεσκόπιο 100 Ἴντσῶν τοῦ ὄρους Wilson.
4. Ἡ διατύπωση τῆς θεωρίας τῆς Σχετικότητας (Εἰδικῆς καὶ Γενικῆς).

Ἡ ἀνακάλυψη τῶν φασματικῶν γραμμῶν ἐκπομπῆς, ἐκτὸς τοῦ ὅτι ἐπέτρεψε τὴν μελέτη τῆς χημικῆς συνθέσεως ἀστρονομικῶν ἀντικειμένων, ἐπέτρεψε καὶ τὸν προσδιορισμὸ τῶν ταχυτήτων τους, οἱ ὁποῖες κατὰ τὸ φαινόμενο Doppler μετατοπίζουν τὴν συχνότητα μιᾶς φασματικῆς σὲ ἀναλογία με τὴν σχετικὴ ταχύτητα πηγῆς - παρατηρητοῦ.

Ἡ σχέση λαμπρότητας - περιόδου τῶν Κηφειδῶν ἀστέρων ἀνεκαλύφθη τὸ 1912 ἀπὸ τὴν Henrietta Levitt. Οἱ Κηφεῖδες εἶναι ἀστέρες τῶν ὁποίων ἢ ἐπιφάνεια πάλλεται με ἀποτέλεσμα τὴν αὐξομείωση τῆς λαμπρότητάς τους με περίοδο τῶν Κηφειδῶν μπορεῖ κανεὶς νὰ ὑπολογίσει τὴν ἀπόλυτη λαμπρότητά τους καὶ σὲ σύγκριση με τὴν φαινομένη λαμπρότητα τὴν ἀπόστασή τους. Ἔτσι γίνεται δυνατὴ ἢ μέτρηση ἀστρονομικῶν ἀποστάσεων μεγαλύτερων τῶν 3000 ἐτῶν φωτός.

Τὸ τηλεσκόπιο 100 Ἴντσῶν τοῦ ὄρους Wilson ἐτέθη σὲ λειτουργία τὸ 1917. Ἐφερε ἐπανάσταση στὶς ἀντιλήψεις μας γιὰ τὸ μέγεθος τοῦ Σύμπαντος. Με τὸ τηλεσκόπιο αὐτό, παρατηρητὲς κατάφεραν νὰ διακρίνουν ἀστέρες στὸ νεφέλωμα τῆς Ἀνδρομέδας. Μάλιστα δέ, κατάφεραν νὰ διακρίνουν Κηφεῖδες, καὶ μετρώντας τὴν περίοδο μεταβολῆς τους καὶ τὴν φαινόμενη τους λαμπρότητα, νὰ διαπιστώσουν ὅτι τὸ νεφέλωμα αὐτὸ εἶναι πραγματικὰ ἐξωγαλαξιακὸ, ὅτι εἶναι ἕνας γαλαξίας ἴσος περίπου σὲ μέγεθος με τὸν δικό μας καὶ σὲ ἀπόσταση ἐνὸς ἑκατομμυρίου ἐτῶν φωτός. Ἔτσι ἐτέθη ἢ μονάδα τῆς κλίμακας τῶν ἐξωγαλαξιακῶν ἀποστάσεων, καὶ τὸ Σύμπαν σὲ μία μέρα ἔγινε τουλάχιστον δέκα φορές μεγαλύτερο. Πολλὰ ἀπὸ τὰ

νεφελώματα τὰ ὁποῖα εἶχαν ἤδη κοσμογραφηθεῖ ἀπὸ τοὺς ἀστρονόμους τοῦ 19ου αἰῶνα ἀποδείχθηκε ὅτι ἦταν καὶ αὐτὰ γαλαξίες. Ἔτσι ἐτέθηκαν παράλληλα καὶ τὰ θεμέλια τῆς ἐξωγαλαξιακῆς ἀστρονομίας.

Ἡ Εἰδικὴ θεωρία τῆς Σχετικότητος διατυπώθηκε ἀπὸ τὸν Einstein γιὰ νὰ ἐρμηνεύσει τὰ ἀποτελέσματα τοῦ πειράματος τῶν Michelson and Morley ποὺ ἔδειξαν τὴν ἔλλειψη κίνησης τῆς Γῆς σχετικὰ μὲ τὸν αἰθέρα (τὸ μέσον στὸ ὁποῖο ἐθεωρεῖτο ὅτι διαδίδονται τὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα) καὶ συνοψίζεται ὡς ἑξῆς:

Ἡ μεγίστη ταχύτητα διαδόσεως πληροφορίας στὸ σύμπαν εἶναι ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός. Ἡ ταχύτητα αὕτη εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν κίνηση τῆς πηγῆς ἢ τοῦ παρατηρητῆ δηλαδὴ ἀπὸ τὸ σύστημα ἀναφορᾶς του. Ὅλοι οἱ ὁμοίμορφα κινούμενοι παρατηρητὲς εἶναι ἰσοδύναμοι. Ἡ κατάσταση κινήσεως δὲν μπορεῖ νὰ εὑρεθεῖ μὲ τοπικὰ πειράματα.

Μὲ τὸ πεπερασμένο τῆς ταχύτητας διαδόσεως τοῦ φωτός μπορεῖ κανεὶς νὰ δεῖ εὐκόλα ὅτι τὸ ταυτόχρονο δύο γεγονότων ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν κίνηση τοῦ παρατηρητῆ (ἂν δύο γεγονότα εἶναι ταυτόχρονα γιὰ ἕναν ἀκίνητο παρατηρητῆ, ἕνας παρατηρητῆς κινούμενος πρὸς ἕνα ἀπὸ αὐτὰ θὰ συναντήσῃ τὸ φῶς ποὺ ἐξεπέμφθη ἀπὸ αὐτὸ πρὸς τὸ ὁποῖο πλησιάζει πρὶν ἀπὸ τὸ φῶς τοῦ γεγονότος ἀπὸ τὸ ὁποῖο αὐτὸς ἀπομακρύνεται). Ὁ Χῶρος καὶ ὁ Χρόνος χάνουν ἔτσι τὴν ἀτομικότητά τους καὶ τὸ ἀπόλυτο ποὺ τοὺς ἀπέδιδε ὁ Νεύτων. Ἄμεσες συνέπειες αὐτῆς τῆς ἀρχῆς εἶναι τὸ ὅτι ὁ χρόνος κυλᾷ πιὸ ἀργὰ γιὰ κινούμενους παρατηρητὲς καὶ ὅτι τὰ μήκη τους συστέλλονται ὥστε τὰ πειράματα ποὺ ἐκτελοῦνται στὰ δύο διαφορετικὰ συστήματα σὲ σχετικὴ κίνηση νὰ δίδουν τὴν ἴδια τιμὴ γιὰ τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός. Ὅλες οἱ παραπάνω προϋποθέσεις μποροῦν νὰ συνοψισθοῦν μαθηματικὰ μὲ τὴ συνθήκη τοῦ ὅτι τὸ μῆκος τοῦ διαστήματος τοῦ Χωροχρόνου

$$ds^2 = -dr^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 \quad (3)$$

νὰ παραμένει σταθερὸ ἀνεξάρτητα ἀπὸ ταχύτητα τοῦ παρατηρητῆ. Πρέπει νὰ σημειωθεῖ ὅτι τὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ φαινόμενα ποὺ διέπονται ἀπὸ τὶς ἐξισώσεις τοῦ Maxwell εἶναι συνεπῆ μὲ τὴν ἀρχὴ τῆς Εἰδικῆς Σχετικότητος.

Ἡ Γενικὴ Θεωρία τῆς Σχετικότητος διατυπώθηκε γιὰ νὰ ἐφαρμόσει τὶς ἀρχές τῆς Σχετικότητος καὶ στὸ βαρυτικὸ πεδίο. Ἡ Νευτώνεια βαρύτητα θεωροῦσε τὶς βαρυτικὲς ἀλληλεπιδράσεις νὰ διαδίδονται μὲ ἄπειρη ταχύτητα, παραβαίνοντας ἔτσι τὴ βασικὴ ἀρχὴ τῆς Σχετικότητος. Ἐπειδὴ τὸ βαρυτικὸ πεδίο περιέχει ἐπιταχύνσεις, ἔχει νὰ κάνει μὲ γενικευμένα συστήματα (ἔχει μόνον ὁμοίμορφα κινουμένων) ἀναφορᾶς, δηλαδὴ γενικευμένα συστήματα συντεταγμένων. Τὰ τελευταῖα

ὅμως μπορούν νά θεωρηθοῦν ὅτι ἀντιπροσωπεύουν τή γεωμετρία τοῦ χώρου ὁ ὁποῖος εἶναι διαφορετικός ἀπό τόν Εὐκλείδειο χῶρο καί εἶναι ἐν γένει καμπύλος. Ἐπειδή οἱ ἐπιταχύνσεις, πού ὀδηγοῦν στά γενικευμένα αὐτά συστήματα συντεταγμένων πηγάζουν ἀπό τήν παρουσία ὕλης στό χῶρο, ἡ καμπυλότητα τοῦ χώρου (ἀκριβέστερα τοῦ χωροχρόνου) δέν παριστᾶ μόνο τήν ἐκλογή τοῦ συστήματος συντεταγμένων πού χρησιμοποιοῦμε, ἀλλά τήν κατανομή τῆς ὕλης, ἡ ὁποία εἶναι ὑπεύθυνη γιά τήν καμπυλότητα τοῦ χωροχρόνου. Ὁ χῶρος μπορεῖ νά ἐμφανισθεῖ ἐπίπεδος τοπικά (σέ ἓνα σύστημα συντεταγμένων πού μηδενίζει τοπικά τίς ἐπιταχύνσεις) ἀλλά ὄχι παγκοσμίως (globally) παρά μόνον ἂν θεωρήσουμε ἓνα χῶρο μέ παντελῆ ἀπουσία ὕλης. Συνεπῶς, ἡ Γενική Θεωρία τῆς Σχετικότητας ἀνάγει τή βαρύτητα στή μελέτη τῆς γεωμετρίας τοῦ χωροχρόνου ὁ ὁποῖος ἐν γένει εἶναι καμπύλος. Μαθηματικά ἡ παράσταση ἑνός καμπύλου χώρου δίδεται ἀπό ἐκφράσεις τῆς ἀπόστασης δύο γεγονότων τῆς μορφῆς

$$ds^2 = -Adt^2 + Bdx^2 + Cdy^2 + Ddz^2 \quad (4)$$

ὅπου A, B, C, D εἶναι συναρτήσεις τοῦ χώρου καί τοῦ χρόνου καί εἶναι γενικεύσεις τοῦ Νευτωνείου δυναμικοῦ.

Ἡ κοσμολογία σάν ἐπιστήμη ἀρχίζει οὐσιαστικά μέ τή διατύπωση τῆς Γενικῆς Θεωρίας τῆς Σχετικότητας, ἡ ὁποία τώρα μπορεῖ νά μελετηθεῖ τήν γεωμετρία τοῦ χωροχρόνου τόσο στήν γειτονία τοῦ Ἡλίου ὅσο καί ὀλοκλήρου τοῦ Σύμπαντος.

1.1 Τὰ Κοσμολογικά Μοντέλα

Ἡ ἰδέα ὅτι οἱ γήινοι παρατηρητές δέν κατέχουν προνομιοῦχο θέση στό Σύμπαν εἶναι ἡ καθοριστική ἀρχή τῶν κοσμολογικῶν μοντέλων. Σημαίνει ὅτι ὁ χῶρος θά πρέπει νά ἔχει τίς ἴδιες ιδιότητες σέ ὅλα τὰ σημεῖα πρὸς ὅλες τίς κατευθύνσεις, δηλαδή νά εἶναι ὁμογενῆς καί ἰσοτροπικός. Παράδειγμα ἑνός τέτοιου χώρου εἶναι τὸ (ἄπειρο) ἐπίπεδο. Ἡ πιὸ γενική ἐκφραση ὁμογενοῦς καί ἰσοτροπικοῦ χώρου δέν εἶναι μόνο αὐτὴ τοῦ Εὐκλείδειου χώρου ἀλλά περιέχει ἐπίσης καί χώρους μέ θετική ἢ ἀρνητική καμπυλότητα. Ἐπειδή εἶναι δύσκολη ἡ θεώρηση ἑνός τέτοιου χώρου 3 διαστάσεων, μπορεῖ κανεὶς νά θεωρήσει ὁμογενοῦς καί ἰσοτροπικούς χώρους δύο διαστάσεων. Αὐτοὶ εἶναι τριῶν ειδῶν (Σχῆμα 1): Τὸ ἐπίπεδο (χῶρος μηδενικῆς καμπυλότητος). Ἡ σφαῖρα (χῶρος θετικῆς καμπυλότητος). Ἡ σέλλα (χῶρος ἀρνητικῆς καμπυλότητος). Ἡ καμπυλότητα μπορεῖ νά μετρηθεῖ τοπικά μετρώντας τὸ ἄθροισμα τῶν γωνιῶν ἑνός τριγώνου (μπορεῖ νά δεῖ κανεὶς εὐκολά ὅτι τὸ ἄθροισμα τῶν γωνιῶν τριγώνου στήν ἐπιφάνεια τῆς σφαίρας εἶναι μεγαλύτερο τῶν

180° θεωρώντας ένα οκταμήριο αὐτῆς τὸ ὁποῖο ἔχει 3 ὀρθές γωνίες). Ἡ γενικὴ θεώρηση χώρων γενικευμένου ἀριθμοῦ διαστάσεων ἐπιπέδων καὶ μῆ, εἶναι τὸ ἀντικείμενο μελέτης τῆς Διαφορικῆς Γεωμετρίας. Ἡ πιὸ οὐσιαστικὴ θεμελίωση τῶν ἐννοιῶν αὐτῶν ἔγινε ἀπὸ τὸν Riemann τὸν περασμένο αἰῶνα. Ἡ καινοτομία τοῦ Einstein ἦταν ἡ θεώρηση ὅτι τὸ Σύμπαν εἶναι ἓνας χώρος Riemann 4 διαστάσεων, ἡ δυναμικὴ τοῦ ὁποίου δίδεται ἀπὸ τὴ λύση τῶν ἐξισώσεων πού πρότεινε ὁ ἴδιος. Τὸ ἐκπληκτικὸ εἶναι ὅτι οἱ δυναμικὲς αὐτὲς ἐξισώσεις δείχνουν ὅτι ὁ χώρος ἐν γένει διαστῆλλεται, δηλαδὴ ἡ ἀπόστασις δύο σημείων αὐξάνει μὲ τὸν χρόνο.

Τὰ κοσμολογικὰ μοντέλα καθορίζονται μὲ τὴν μαθηματικὴ διατύπωση τῆς πιὸ γενικῆς μορφῆς τοῦ χωροχρόνου πού εἶναι ὁμογενῆς καὶ ἰσοτροπικός, δηλαδὴ μὲ πυκνότητα τῆς ὕλης πού ἔχει τὴν ἴδια τιμὴ σὲ ὅλα τὰ σημεῖα τοῦ χώρου, ἀλλὰ πού ἐν γένει ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν χρόνο. Ὁ λόγος πού ἐπιβάλλει τὴ χρῆση τέτοιων χώρων εἶναι τὸ ὅτι οἱ χώροι αὐτοὶ δὲν περιέχουν προνομιακοὺς παρατηρητὰς. Ὅλα τὰ σημεῖα αὐτῶν τῶν χώρων εἶναι ἰσοδύναμα. Μαθηματικά, οἱ χώροι αὐτοὶ δίδονται ἀπὸ τὴν ἔκφραση τῆς ἀπόστασης μεταξὺ δύο σημείων (γεγονότων στὸν Χωρόχρονο).

$$ds^2 = - dt^2 + R(t)^2 \left(\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 (\sin \theta)^2 d\varphi^2 \right)$$

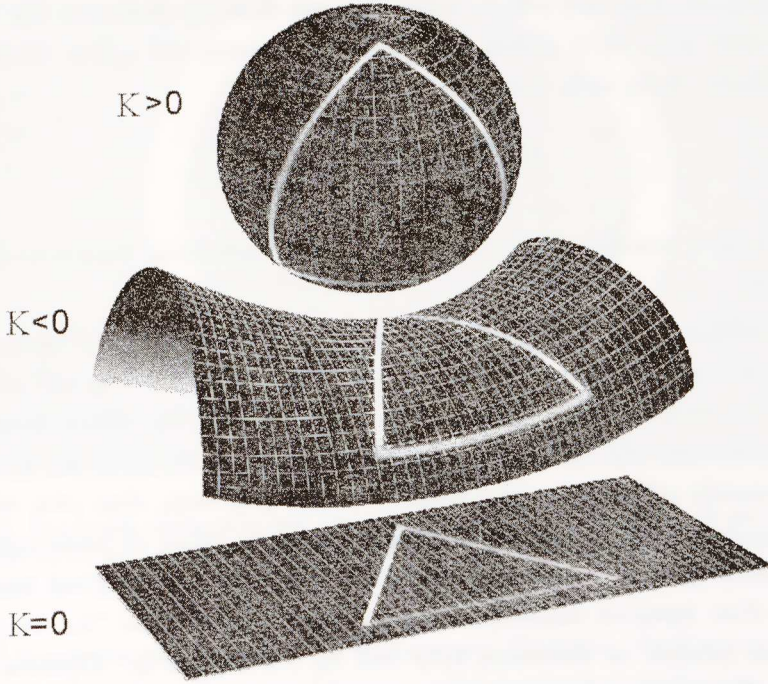
Ἡ συνάρτησις $R(t)$ δίδει τὸν τρόπο μὲ τὸν ὁποῖο μεταβάλλεται ἡ ἀπόστασις μεταξὺ δύο σημείων στὸν χώρο μὲ τὸ χρόνο, ἐνῶ ἡ σταθερὰ k δίδει τὴν καμπυλότητα τοῦ χώρου. Ὁ χώρος ἔχει θετικὴ καμπυλότητα (σφαῖρα) διὰ $k=1$, μηδενικὴ καμπυλότητα (Εὐκλείδειος χώρος) διὰ $k=0$ καὶ ἀρνητικὴ καμπυλότητα διὰ $k=-1$. Εἶναι ἄξιον παρατηρήσεως ὅτι ὁ χώρος δὲν εἶναι ἀναγκαστικὰ ἄπειρος. Στὴν περίπτωσι θετικῆς καμπυλότητος ($k=1$) ὁ ὄγκος τοῦ Σύμπαντος εἶναι πεπερασμένος ἀλλὰ χωρὶς ὄρια, ὅπως ἀκριβῶς ἡ ἐπιφάνεια τῆς σφαίρας. Στὶς ἄλλες δύο περιπτώσεις ὁ ὄγκος τοῦ Σύμπαντος εἶναι ἄπειρος. Παραδείγματα τέτοιων χώρων σὲ 2 διαστάσεις δίδονται εἰς τὸ Σχῆμα 1.

Ἡ δυναμικὴ τοῦ Σύμπαντος δίδεται ἀπὸ τὴ συνάρτησις $R(t)$ ἡ ὁποία ὑπακούει τὶς ἐξισώσεις τοῦ Einstein. Οἱ ἐξισώσεις αὐτὲς συνδέουν ἐν γένει τὴν γεωμετρίαν τοῦ χωροχρόνου μὲ τὴν κατανομὴ τῆς ὕλης καὶ ἔχουν τὴν ἀκόλουθη γενικὴ μορφή

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{3} T_{\mu\nu} \quad (6)$$

Τὸ δεξιὸ μέλος περιέχει γεωμετρικὲς ποσότητες (συγκεκριμένα τὸν ταυστή τοῦ Ricci), δηλαδὴ ποσότητες πού καθορίζουν τὴν γεωμετρίαν τοῦ χωροχρό-

Geometry of the Universe



Σχήμα 1. Παραδείγματα χώρων δύο διαστάσεων θετικής, αρνητικής και μηδενικής καμπυλότητας. Μέτρο τής καμπυλότητας είναι το άθροισμα τών γωνιών ενός τριγώνου, το οποίο είναι αντίστοιχος μεγαλύτερο, μικρότερο και ίσο με 180 μοίρες, για τούς τρεις αυτούς χώρους.

νου (χονδρικά τὸ ἀνάλογο τῆς βαρυτικῆς δυναμικῆς ἐνέργειας τῆς ἐξίσωσης (2)), ἐνῶ τὸ ἀριστερὸ τὴν κατανομὴ τῆς ὕλης ποῦ εἶναι ἡ πηγὴ τῆς δυναμικῆς τῆς γεωμετρίας. Στὴν περίπτωσιν ὁμογενοῦς καὶ ἰσοτροπικοῦ χώρου, ἡ παραπάνω ἔκφραση δίδει διαφορικές ἐξισώσεις γιὰ τὴν συνάρτησιν ποῦ δίνει τὴν ἀπόστασιν δύο τυχαίων σημείων στὸν χωρὸ $R(t)$ καθὼς τὸ Σύμπαν ἐξελισσεται στὸ χρόνον. Αὐτὲς ἔχουν τὴν ἀκόλουθον, ἀπλὴ στὴν περίπτωσιν αὐτῆ, μορφή

$$\dot{R}^2 + k = \frac{8\pi G}{3} \rho R^2 \quad (7)$$

ὅπου ρ εἶναι ἡ πυκνότης τῆς ὕλης καὶ ἡ τελεία ὑποδηλώνει παράγωγον ὡς πρὸς τὸν χρόνον.

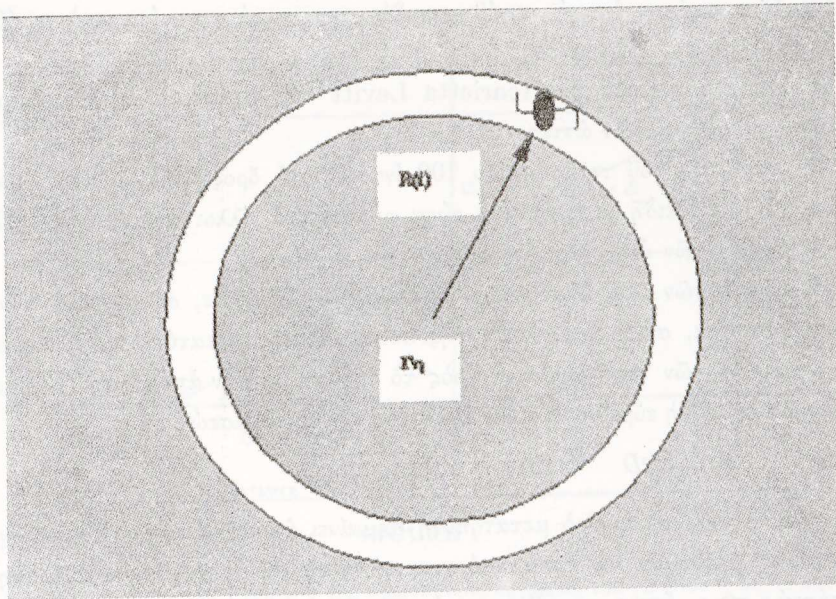
Παραδόξως, παρ' ὅλες τὶς ἐννοιακὰς καὶ τεχνικὰς διαφορὰς τῆς Γενικῆς Σχετικότητας ἀπὸ τὴ Νευτώνεια βαρύτητα, κοσμολογία εἶναι δυνατὴ καὶ μέσα στὰ πλαίσια τῆς θεωρίας τοῦ Νεύτωνα. Αὐτὸ ποῦ ἐπιτρέπει ἕνα τέτοιο φορμαλισμὸ εἶναι μίᾳ ιδιότητι τῆς Νευτώνειας θεωρίας, σύμφωνα μὲ τὴν ὁποία εἰς τὴν κίνησιν μιᾶς σημειακῆς μάζης ἐντὸς μίας σφαιρικῆς κατανομῆς ὕλης, εἶναι μόνον τὰ στρώματα ὕλης ἐσωτερικὰ τῆς θέσεως τῆς σημειακῆς αὐτῆς μάζης τὰ ὁποία καθορίζουν τὴ δυναμικὴ τῆς ἀπὸ τὴν ὅλην κατανομὴ τῆς ὕλης. Ἐνα ὁμογενὲς καὶ ἰσοτροπικὸ Σύμπαν εἶναι σφαιρικὰ συμμετρικὸ ὡς πρὸς κάθε σημεῖο του. Ἄς θεωρήσουμε λοιπὸν ἕνα γαλαξία σὲ ἀπόστασιν $R(t)$ ἀπὸ τὴ $\Gamma\eta$ (Σχῆμα 2). Σύμφωνα μὲ τὴν προηγούμενη πρότασιν, ἡ δυναμικὴ τοῦ γαλαξία αὐτοῦ σὲ σχέση μὲ τὴ $\Gamma\eta$ δίδεται ἀπὸ τὴ μάζα ποῦ περιλαμβάνεται μεταξὺ τῆς $\Gamma\eta$ καὶ αὐτοῦ καὶ δὲν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ μάζα τοῦ Σύμπαντος πέραν τῆς ἀκτίνου $R(t)$.

Ἡ δυναμικὴ τοῦ γαλαξία αὐτοῦ δίδεται ἀπλὰ ἀπὸ τὴν διατήρησιν τῆς ἐνεργείας,

$$\frac{1}{2}V^2 - \frac{GM}{R} = \frac{1}{2}\dot{R}^2 - \frac{G 4\pi\rho R^3}{3R} = E \quad (8)$$

ὅπου V εἶναι ἡ ταχύτητα τοῦ γαλαξία, ἡ ὁποία ἔχει γραφεῖ σὰν τὴν παράγωγον τῆς ἀπόστασης μὲ τὸ χρόνον, καὶ M ἡ μάζα ποῦ περιέχεται στὸ σφαιρικὸ ὄγκον μεταξὺ τῆς $\Gamma\eta$ καὶ τοῦ γαλαξία, καὶ ἡ ὁποία ἔχει γραφεῖ σὰν τὸ γινόμενον τοῦ ὄγκου ἐπὶ τὴν πυκνότητά. Ὁ πρῶτος ὄρος τῆς σχέσεως (8) εἶναι ἡ κινητικὴ ἐνέργεια, ὁ δεῦτερος ἡ δυναμικὴ ἐνέργεια καὶ E εἶναι ἡ ὀλικὴ ἐνέργεια τοῦ γαλαξία αὐτοῦ. Ἡ παραπάνω ἐξίσωσιν γράφεται καὶ ὡς ἐξῆς

$$\dot{R}^2 - 2E = \frac{8\pi G}{3} \rho R^2 \quad (9)$$



Σχήμα 2. Σχηματική παράσταση ενός σφαιρικού τμήματος του Σύμπαντος με κέντρο την $\Gamma\eta$ και ακτίνα $R(+)$ ίση με την απόσταση ενός δεδομένου γαλαξία. Η δυναμική αυτού του γαλαξία σε σχέση με την $\Gamma\eta$ επηρεάζεται μόνο από την ύλη που περιέχεται εντός της σφαίρας ακτίνας $P(+)$.

Η ομοιότητα με την αντίστοιχο εξίσωση του Einstein, την εξίσωση (7) είναι καταφανής. Το ρόλο της καμπυλότητας στην προκειμένη περίπτωση παίζει η ολική ενέργεια E . Θετική καμπυλότητα αντιστοιχεί σε αρνητική ενέργεια, δείχνοντας έτσι ότι το τμήμα του Σύμπαντος του οποίου την κίνηση μελετούμε δεν θα διαστέλλεται επ' άπειρον αλλά μετά ένα ορισμένο χρονικό διάστημα θα αρχίσει να συστέλλεται, δηλαδή έχει πεπερασμένο χρόνο ζωής. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ο Νεύτων θεώρησε την επίδραση της βαρύτητας σε μια άπειρη κατανομή ύλης που παριστά ένα άπειρο σε έκταση Σύμπαν. Ο λόγος που δεν οδηγήθηκε στη σχέση (9) είναι ότι θεώρησε την κατανομή αυτή ως στατική.

Οι πρώτες κοσμολογικές λύσεις των εξισώσεων Einstein εμφανίστηκαν την δεκαετία του 1920 και προέβλεπαν τη διαστολή του Σύμπαντος ή όποια τότε ήταν άγνωστη. Για να μετατρέψει το Σύμπαν από διαστελλόμενο σε στατικό, ο Einstein τροποποίησε τις εξισώσεις του με την εισαγωγή ενός ακόμη όρου, που φέρει το όνομα «Κοσμολογική Σταθερά». Ο όρος αυτός αναφέρεται σε μία μορφή ενέργειας που διαπερνά ομοιόμορφα όλο το Σύμπαν, είναι δηλαδή σταθερά, τόσο στον χώρο όσο και στον χρόνο και βοηθάει στο να εξισορροπήσει την δύναμη της βαρύτητας της ύλης ώστε να καταστήσει το Σύμπαν στατικό.

Τὴν ἴδια περίπου ἐποχὴ, συνέβησαν δύο σημαντικὰ γεγονότα ποὺ συνέβαλαν στὴν κατανόηση τοῦ Σύμπαντος:

- (1) Ἡ ἀνακάλυψη ἀπὸ τὴν Henrietta Levitt τῆς σχέσεως περιόδου-λαμπρότητος τῶν Κηφειδῶν ἀστέρων.
- (2) Ἡ λειτουργία τοῦ τηλεσκοπίου 100 Ἴντσων στὸ ὄρος Wilson ποὺ καθόρισε ὅτι τὰ σπειροειδῆ νεφελώματα εἶναι οὐσιαστικὰ ἄλλοι γαλαξίες καὶ ἔδωσε τὸ μέγεθος τῶν ἀποστάσεών τους.

Ἡ μελέτη τῶν ἐξωγαλαξιακῶν νεφελωμάτων ὀδήγησε, σὲ σχετικὰ σύντομο χρονικὸ διάστημα, στὴν ἀνακάλυψη τῆς συστηματικῆς μετατόπισης τῶν φασματικῶν γραμμῶν τῶν νεφελωμάτων πρὸς τὸ ἐρυθρὸ μὲ τὴν ἀπόσταση (Σχῆμα 3). Ἡ μετατόπιση αὐτὴ εὐρέθη νὰ εἶναι ἀνάλογος τῆς ἀποστάσεώς τους.

$$V = H \cdot D \quad (10)$$

καὶ ἐπειδὴ ἡ πρὸς τὸ ἐρυθρὸ μετατόπιση σημαίνει ἀπομάκρυνση, τὰ νεφελώματα (οἱ γαλαξίες) βρέθηκαν νὰ ἀπομακρύνονται ἀπὸ τὴ Γῆ μὲ ταχύτητα ἀνάλογη τῆς ἀποστάσεώς τους, ὅπως προέβλεπαν οἱ κοσμολογικὲς λύσεις τῆς Γενικῆς Σχετικότητας (χωρὶς κοσμολογικὴ σταθερά)!

Ἡ πρόβλεψη αὐτὴ θὰ πρέπει νὰ θεωρεῖται ὡς ἓνα ἀπὸ τὰ μεγαλύτερα ἐπιτεύγματα τῆς ἀνθρώπινης σκέψης. Τὸ γεγονός ὅτι ἡ ταχύτητα ἀπομακρύνσεως εἶναι ἀνάλογη τῆς ἀποστάσεως (καὶ ὄχι π.χ. σταθερά) εἶναι σημαντικό. Σημαίνει, ὅπως μπορεῖ νὰ δεῖ κανεὶς μὲ ἀπλὴ γεωμετρία, ὅτι βλοῖ οἱ γαλαξίες ἀπομακρύνονται ἀπὸ ὅλους τοὺς ἄλλους καὶ ὅτι συνεπῶς δὲν βρισκόμαστε στὸ κέντρο τοῦ Σύμπαντος (δηλαδὴ σὲ προνομιούχο θέση), ὅπως ἐκ πρώτης ὕψεως φαίνεται. Ἡ ἀπομάκρυνση τῶν γαλαξιῶν παρομοιάζεται μὲ τὴν ἀπομάκρυνση κηλίδων πάνω στὴν ἐπιφάνεια ἐνὸς μπαλονιοῦ ποὺ φουσκώνει. Δισδιάστατα ὄντα ποὺ ζοῦν πάνω σ' αὐτὴ τὴν ἐπιφάνεια βλέπουν τοὺς πάντες σὲ ἀμοιβαία ἀπομάκρυνση, χωρὶς κανεὶς νὰ κατέχει προνομιούχο θέση πάνω στὴν ἐπιφάνεια.

Ἡ ἀνακάλυψη τῆς ἀπομακρύνσεως τῶν γαλαξιῶν ἔγινε ἀπὸ τὸν Hubble, καὶ ἡ σταθερὰ H_0 ποὺ συνδέει τὴν ἀπόσταση μὲ τὴν ταχύτητα στὴν σχέση (10) λέγεται σταθερὰ τοῦ Hubble. Ἡ σταθερὰ αὐτὴ μᾶς δίδει τὴν ποσοστιαία μεταβολὴ τῆς ἀπόστασης δύο σημείων μὲ τὸ χρόνο, ἢ τὸ χρόνο ποὺ χρειάστηκε ὁ γαλαξίας ποὺ εἶναι σὲ ἀπόσταση D νὰ ἀποκτήσει ταχύτητα V . Τὸ ἀντίστροφο τῆς σταθερᾶς αὐτῆς, $1/H_0$, μᾶς δίδει ἐπομένως ἓνα μέτρο τῆς ἡλικίας τοῦ Σύμπαντος. Ἡ διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος συνεπάγεται λοιπὸν ὅτι τὸ Σύμπαν δὲν ἔχει ἄπειρη ἡλικία καὶ ὅτι οὔτε εἶναι ἀναγκαστικὰ ἄπειρο. Ἡ θεώρηση αὐτὴ εἶναι γνωστὴ σὰν ἡ θεωρία τῆς Μεγάλης Ἐκρηξῆς (Big Bang).

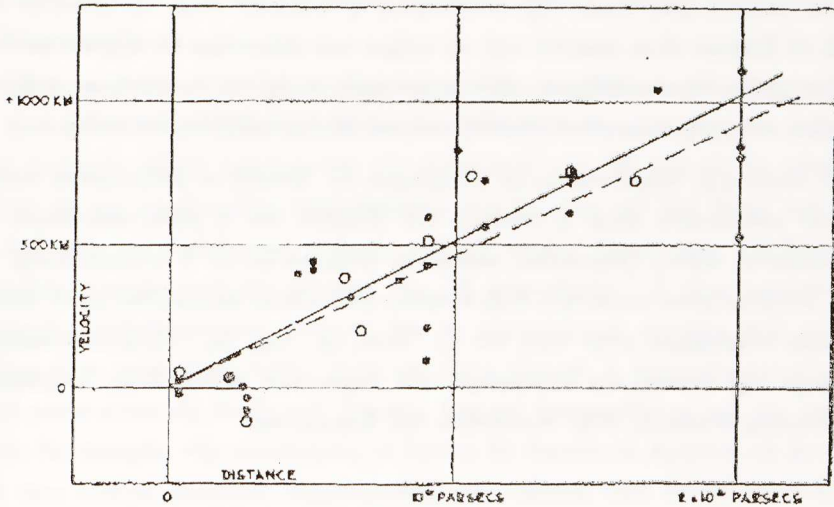


FIGURE 1

Σχήμα 3: Φωτογραφία του Figure 1 της πρωτοτύπου εργασίας του Hubble η οποία καθιέρωσε τη διαστολή του Σύμπαντος. Είς τον οριζόντιο άξονα δίδεται η απόστασις διαφόρων νεφελωμάτων γαλαξιών, σημεία και κύκλοι εις τὸ σχῆμα ἐνῶ εις τὸν κατακόρυφο άξονα ἡ ταχύτης ἀπομακρύνσεώς τους. Ἡ ἀπόστασις μετράται σὲ ἑκατομμύρια parsec (1 parsec = 3 εἰτ., φῶτός), ἐνῶ ἡ ταχύτης ἀπομακρύνσεως σὲ Χ/τρα/sec (χιλιόμετρα ἀνά δευτερόλεπτο). Ἡ γραμμικὴ σχέσηις τῶν δύο εἶναι προφανής.

Ἡ ποσοτικαία μεταβολή τῆς ἀπόστασης δύο σημείων τοῦ χώρου μὲ τὸ χρόνο δίδεται ἀπὸ τὸν λόγῳ \dot{R}/R καὶ ἐπειδὴ αὐτὸς εἶναι ὁ ὅρισμὸς τῆς σταθερᾶς τοῦ Hubble $\dot{R}/R=H_0$. Ἐπομένως, μπορούμε νὰ ξαναγράψουμε τὴν ἐξίσωση τῆς Νευτώνειας κίνησης τοῦ γαλαξία τοῦ σχήματος 2 ὡς ἐξῆς:

$$\frac{\dot{R}^2}{R^2} - \frac{2E}{R^2} = \frac{8\pi G}{3} \rho = H_0^2 - \frac{2E}{R^2} \quad \eta \quad \Omega = \frac{\rho}{\rho_c} = 1 - \frac{2E}{R^2 H_0^2} \quad (11)$$

Δηλαδή, δεδομένης τῆς ταχύτητος ἀπομακρύνσεως (σταθερᾶς τοῦ Hubble), ἡ ἐξέλιξη τοῦ τμήματος αὐτοῦ τοῦ Σύμπαντος ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πυκνότητά του. Ὅπως γιὰ μιὰ τιμὴ τῆς ἀκτίνας $R(t)$ ὑπάρχει μιὰ κριτικὴ ταχύτητα, ἡ ταχύτητα διαφυγῆς γιὰ τὴν ὁποία ἡ τιμὴ τῆς ἐνέργειας εἶναι μηδέν, δηλ. $E=0$, ἔτσι, καὶ γιὰ μιὰ τιμὴ τῆς ταχύτητος ἀπομακρύνσεως (τῆς σταθερᾶς τοῦ Hubble) ὑπάρχει μιὰ τιμὴ τῆς πυκνότητος γιὰ τὴν ὁποία ἡ ἐνέργεια εἶναι μηδέν ($E=0, k=0$). Ἡ κριτικὴ αὐτὴ τιμὴ τῆς πυκνότητος εἶναι ἴση μὲ

$$\rho = 3 H_0^2 / 8\pi G = 2 \times 10^{-29} \left(\frac{H_0}{100 \text{ km/s/Mpc}} \right)^2 \text{ gr cm}^{-3} \quad (12)$$

Για μεγαλύτερες τιμές της πυκνότητας ή ενέργεια είναι αρνητική ($k = 1$), δηλαδή το Σύμπαν είναι κλειστό και το τμήμα που μελετούμε θα αρχίσει μετά από ορισμένο χρόνο να συστέλλεται. Διά μικρότερες τιμές της πυκνότητας ενέργειας, ή ενέργεια του τμήματος αυτού είναι θετική και θα διαστέλλεται επ' άπειρον.

Ο λόγος ρ/ρ_c συμβολίζεται με το γράμμα Ω . Έπειδή οι μετρούμενες ποσότητες στην κοσμολογία είναι ή σταθερά του Hubble και ή μέση πυκνότητα ύλης ενός ορισμένου είδους (βαρυονίων, σκοτεινής ύλης, πετρίνων ή κοσμολογικής σταθεράς), συνήθως μέση πυκνότητα ύλης εκάστου είδους ύλης εκφράζεται με το ποσοστό στο οποίο συνεισφέρει στην τιμή του Ω . Έτσι, Ω_b , Ω_m , Ω_n , Ω_Λ αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα την ποσοστιαία συνεισφορά των βαρυονίων, όλικης ύλης, νετρίνων και κοσμολογικής σταθεράς στην πυκνότητα του Σύμπαντος.

1.2 Η θερμική εξέλιξη του Σύμπαντος

1.2α Η Ακτινοβολία 3K

Η διαστολή του Σύμπαντος συνεπάγεται ότι οι γαλαξίες και γενικότερα όλη ή ύλη του Σύμπαντος στο παρελθόν εύρισκοντο πλησιέστερα μεταξύ τους. Όπως φαίνεται και από τις λύσεις των εξισώσεων της Γενικής Σχετικότητας ή απόσταση μεταξύ όλων των σημείων του Σύμπαντος τείνει στο μηδέν καθώς ο χρόνος τείνει στο μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι ή πυκνότητα του Σύμπαντος τείνει στο άπειρο. Με την πυκνότητα όμως αυξάνει και ή θερμοκρασία. Αυξάνει στο σημείο που τα άτομα ιονίζονται (2000 - 3000 K) και ακόμη περισσότερο στο σημείο που αρχίζουν οι πυρηνικές αντιδράσεις (1.000.000.000 K), και θεωρητικά γίνεται άπειρη στην αρχή του χρόνου.

Όμως, θερμοκρασίες αυτής της τάξεως (δηλαδή μεγαλύτερες των 3000 K), συνεπάγονται και την παραγωγή θερμικής ακτινοβολίας με την ίδια θερμοκρασία. Η ακτινοβολία αυτή αλληλεπιδρά και βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία με την ύλη όταν ή πυκνότητα και θερμοκρασία του Σύμπαντος είναι υψηλότερες από 10^{-21} gr/cm^3 και 3000 K αντίστοιχως. Όταν ή θερμοκρασία πέσει κάτω από αυτό το όριο, ή αλληλεπίδρασή τους σταματά αλλά ή ακτινοβολία εξακολουθεί να είναι παρούσα με θερμοκρασία που συνεχώς ελαττώνεται λόγω της διαστολής του Σύμπαντος. Έπειδή ή πυκνότητα της ύλης ελαττούται παράλληλα με την θερμοκρασία της ακτινοβολίας, μπορεί κανείς να υπολογίσει την θερμοκρασία της ακτινοβολίας σήμερα, μετρώντας απλά την σημερινή πυκνότητα του Σύμπαντος. Η θερμοκρασία

αυτή είναι περίπου 3 K και το φάσμα της είναι φάσμα μέλανος σώματος με αυτή την θερμοκρασία.

Ἡ ἀκτινοβολία αὐτὴ εἶχε προβλεφθεῖ καὶ ἀνακαλύφθηκε τυχαῖα ἀπὸ τοὺς Penzias and Wilson τὸ 1962, ἐνῶ παράλληλα ὁ Dicke τοῦ πανεπιστημίου τοῦ Princeton ἐτοίμαζε εἰδικὸ πείραμα γιὰ τὴν ἀνίχνευσὴ της. Ἡ ἀνακάλυψη αὐτὴ εἶναι μίᾳ ἀπὸ τὶς πιὸ μεγαλειώδεις ἐπιβεβαιώσεις τῆς θεωρίας τοῦ Big Bang καὶ ἐπίσης ἓνας ἀπὸ τοὺς πιὸ εὐαίσθητους τρόπους γιὰ τὴν μελέτη τῆς φυσικῆς τοῦ Σύμπαντος τὶς πρῶτες στιγμὲς μετὰ τὴν γέννησή του. Ἡ ἀκτινοβολία 3 K εἶναι καταπληκτικὰ ὁμοιογενὴς ἐπιβεβαιώνοντας ἔτσι τὸ ὅτι τὰ κοσμολογικὰ μοντέλα πὺ χρησιμοποιοῦμε εἶναι κατὰ βάση ὀρθά. Ἀπὸ τὴν ἄλλη πλευρά, ἡ παρουσία γλαξιδῶν καὶ γενικὰ μακροσκοπικῆς δομῆς στὸ Σύμπαν, ἀπαιτεῖ ἐπιπροσθέτως καὶ τὴν παρουσία μικρῶν διαταραχῶν τῆς πυκνότητος οἱ ὁποῖες θὰ ἔπρεπε νὰ ἀφήνουν τὰ ἀποτυπώματά τους (μικρὲς διαφορὲς θερμοκρασίας τῆς τάξεως τῶν 10-30 μικρο Kelvin) στὴν ἀκτινοβολία 3 K. Αὐτὰ τὰ ἀποτυπώματα πρόσφατα ἀνακαλύφθηκαν ἀπὸ τὸν δορυφόρο COBE.

1.2β Ἡ Σύνθεση τῶν Στοιχείων

Τὸ γεγονός ὅτι ἡ θεωρία τοῦ Big Bang προβλέπει θερμοκρασίες τουλάχιστον 1.000.000.000 K στὸ πολὺ νεαρὸ Σύμπαν ὑποδηλοῖ τὴν δυνατότητα πυρηνικῶν ἀντιδράσεων παρόμοιες με αὐτὲς πὺ συμβαίνουν στὸ ἐσωτερικὸ τῶν ἀστέρων καὶ οἱ ὁποῖες θεωροῦνται ὑπεύθυνες γιὰ τὴν παραγωγή τῶν στοιχείων τῆς φύσης. Ἡ ἰδέα αὐτὴ προτάθηκε ἀπὸ τοὺς Gamov and Alpher πὺ πρότειναν ὅτι ἡ σύνθεση τοῦ στοιχείου Ἡλίου (καθὼς καὶ ὀρισμένων ἄλλων ἐλαφρῶν στοιχείων ὅπως τοῦ Δευτερίου καὶ τοῦ Λιθίου) ἔλαβε χώρα στὰ πρῶτα 3 λεπτά ἀπὸ τὴν γέννηση τοῦ Σύμπαντος. Ἡ ἰδέα τῆς συνθέσεως τῶν στοιχείων εἶναι γενικὰ ἀπλή. Σὲ πολὺ ὑψηλὲς θερμοκρασίες, πολὺ μεγαλύτερες ἀπὸ τὴν διαφορὰ μάζας πρωτονίου - νετρονίου, οἱ ἀντιδράσεις πὺ μετατρέπουν τὰ μὲν στὰ δὲ καὶ ἀντίστροφα λαμβάνουν χώρα με τὸν ἴδιο ρυθμὸ καὶ ἐπομένως αὐτὰ βρίσκονται σὲ ἴσες ποσότητες. Ὄταν ἡ θερμοκρασία πέσει κάτω ἀπὸ 1.000.000.000 K περίπου (τόση εἶναι ἡ διαφορὰ μάζας πρωτονίου - νετρονίου σὲ βαθμοὺς Kelvin), οἱ ἀντιδράσεις μετατροπῆς πρωτονίων σὲ νετρόνια δὲν εὐνοοῦνται θερμικά, με ἀποτέλεσμα τὴν αὐξηση τοῦ ποσοστοῦ πρωτονίων ὡς πρὸς τὰ νετρόνια με τὴν διαρκῆ πτώση τῆς θερμοκρασίας. Ὁ λόγος τῶν ἀριθμῶν τῶν δύο αὐτῶν σωματιδίων 'παγώνει' τελικὰ σὲ μίᾳ ὀρισμένη τιμὴ ὅταν ὁ ρυθμὸς τῶν ἀντιδράσεων αὐτῶν πέσει κάτω ἀπὸ τὸν ρυθμὸ διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος. Αὐτὸς ὁ λόγος εἶναι 6-7 πρωτόνια ἀνὰ νετρόνιο καὶ ἐλαττώνεται ὅσο

μεγαλύτερη ή θερμοκρασία 'παγώματος' τών αντιδράσεων αυτών. Τα νετρόνια που δημιουργούνται έτσι συλλαμβάνονται από τα πρωτόνια και σχηματίζουν πυρήνες 'Ηλίου σε ποσοστό αριθμού "Ηλίου - 'Υδρογόνου 1 προς 10. Ταυτόχρονα παράγονται και πολύ μικρές ποσότητες Δευτερίου και Λιθίου. Οί ακριβείς αναλογίες τών στοιχείων αυτών προς τὸ 'Υδρογόνο μπορούν νά υπολογισθοῦν με ἀκρίβεια και συμφωνοῦν ἐν γένει με τίς παρατηρήσεις. 'Ακριβείς μετρήσεις αυτών τών αναλογιών χρησιμεύουν γιά τὸν καθορισμὸ τῆς ταχύτητος διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος και τῆς πυκνότητος τών βαρυονίων τὴν ἐποχὴ συνθέσεως τών στοιχείων. "Ἐτσι ἔχουμε τρόπο νά ἐλέγξουμε με ἀκρίβεια τὴν διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος ὅταν ἡ θερμοκρασία του ἦταν 1.000.000.000 K και ἡ ἡλικία του μικρότερη ἀπὸ 3 λεπτά!!.

2. ΤΟ ΠΑΡΟΝ (1929-1980)

Παρ' ὅλες τίς ἐπιτυχεῖς προβλέψεις τῆς θεωρίας τοῦ Big-Bang (διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος, διάχυτος ἀκτινοβολία 3K, σύνθετη τών ἐλαφρῶν στοιχείων) ποὺ τὸ κατέστησαν τὴν ἀδιαφιλονίκητη θεωρία τῆς δομῆς και ἐξελιξέως τοῦ Σύμπαντος, παρουσίαζε ὀρισμένα σοβαρὰ προβλήματα. Αὐτὰ ἐξετάζονται πιὸ ἀναλυτικὰ στίς ἐπόμενες τρεῖς παραγράφους.

2.1 Τὰ Προβλήματα τοῦ Big Bang

2.1α Τὸ Πρόβλημα τοῦ 'Ορίζοντα (Horizon Problem)

'Ἡ διάχυτη ἀκτινοβολία τών 3 K εἶναι καταπληκτικὰ ὁμοιογενής. Τὸ γεγονός αὐτὸ εἶναι παράδοξο δεδομένου ὅτι, λόγω τῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος (ἡ ὁποία εἶναι ταχύτερη ὅσο μεγαλύτερη ἡ θερμοκρασία του), περιοχὲς τοῦ σῆμερα ὄρατοῦ Σύμπαντος δὲν εἶχαν ἔρθει σὲ αἰτιακὴ ἐπαφὴ νωρίτερα στὴν ἱστορία του (δηλαδή δὲν εἶχαν τὴν δυνατότητα ἀλληλεπιδράσεως ἡ ὁποία θὰ μπορούσε νά ἀποκαταστήσει τὴν παρατηρούμενη ὁμοιογένεια). Γενικά, ὅταν ἡ ἡλικία τοῦ Σύμπαντος ἦταν t_H , τὸ φῶς εἶχε διανύσει ἀπόσταση μόνον $R_H = ct_H$. 'Ἡ ἀπόσταση αὐτὴ καλεῖται 'Ορίζων και καθορίζει τὴν ἀπόσταση αἰτιατῆς ἐπαφῆς ἀπὸ ἓνα δεδομένο γεγονός. Τὴν ἐποχὴ διαχωρισμοῦ ὕλης - ἀκτινοβολίας τὸ μέγεθος τοῦ ὀρίζοντα εἶναι περίπου 300.000 ἔτη φωτός. Τὸ μῆκος αὐτὸ εἶναι πολὺ μικρότερο ἀπὸ τὸ μέγεθος τοῦ ὀρίζοντα σῆμερα (δηλαδή τοῦ σῆμερα ὄρατοῦ Σύμπαντος) ποὺ εἶναι τῆς τάξεως τών 12.000.000.000 ἐτῶν φωτός. Προφανῶς, ὁ ὀρίζων εἶναι μικρότερος ὅσο νεαρότερο (και θερμότερο) εἶναι τὸ Σύμπαν. Στὴν ἐποχὴ τῆς συνθέσεως τών στοιχείων ἦταν τῆς τάξεως μίας ἀστρονομικῆς μονάδος (ἀπόστασης Γῆς - 'Ηλίου). Δεδομένου

ὅτι αὐτὲς οἱ διάφορες περιοχὲς δὲν εἶχαν ἔρθει σὲ ἐπαφὴ τὴν ἐποχὴ διαχωρισμοῦ ὕλης - ἀκτινοβολίας, ἡ ἐρώτηση ποῦ γεννᾶται εἶναι πῶς εἶναι δυνατόν ἡ θερμοκρασία τῶν 3K νὰ εἶναι τόσο ὁμοιογενής. Ἡ ὁμοιογένεια αὕτη σὲ τόσο μεγάλες χωρικές κλίμακες συνιστᾷ τὸ πρόβλημα τοῦ ὀρίζοντα.

2.1 β Τὸ Πρόβλημα τῆς Ἡλικίας -Ἐπιπεδότητας τοῦ Σύμπαντος (Flatness Problem)

Ἡ Νευτώνεια διατύπωση τῆς κοσμολογίας ποῦ εἶδαμε νωρίτερα καθιστᾷ προφανές ἓνα ἀκόμη πρόβλημα τῆς κοσμολογίας ὅπως τὴν γνωρίσαμε ὡς ἐδῶ. Τὸ γεγονός ὅτι τὸ Σύμπαν ἔχει σήμερα πυκνότητα πολὺ κοντὰ στὴν κριτικὴ πυκνότητα (ἡ ἰσοδύναμη ταχύτητα διαστολῆς πολὺ κοντὰ στὴν ταχύτητα διαφυγῆς), σημαίνει ὅτι σὲ πολὺ μικρότερη ἡλικία ἡ πυκνότητά του ἦταν ἐλάχιστα διαφορετικὴ τῆς κριτικῆς. Βλέποντας τὸ θέμα σὰν τὴν διαστολὴ ἑνὸς σφαιρικοῦ τμήματός του, τὸ γεγονός ὅτι ἡ σημερινὴ ἐνέργειά του εἶναι σχεδὸν μηδέν (κινητικὴ ἐνέργεια ἴση περίπου μὲ τὴν δυναμικὴ) σημαίνει ὅτι, ὅταν ἡ ἡλικία τοῦ Σύμπαντος ἦταν πολὺ μικρότερη ἀπὸ τὴν σημερινή, ἀπαιτεῖται ἐξαιρετικὴ ἀκρίβεια στὴν ἰσορροπία τῶν δύο αὐτῶν ἐνεργειῶν. Θεωρώντας τὴν σημερινὴ ἀκτίνα τοῦ τμήματος αὐτοῦ νὰ εἶναι R_0 καὶ ἔχοντας ὑπ' ὄψιν ὅτι ἡ μετὰ τὴν ἐκπέδηση τῆς πυκνότητας μὲ τὴν ἀκτίνα δίδεται ἀπὸ τὴν σχέση $\rho = \rho_0(R/R_0)^{-3}$, μποροῦμε, ἀπὸ τὴν σχέση (11), νὰ ἐκφράσουμε τὴν περὶ τὸ Ω σὰν συνάρτηση τοῦ χρόνου. Ἡ σχέση αὕτη εἶναι

$$\left(1 - \frac{1}{\Omega}\right) = \frac{R}{R_0} \left(1 - \frac{1}{\Omega_0}\right) \quad (13)$$

Οἱ ποσότητες ἐντὸς τῶν παρενθέσεων δίδουν τὴν ἀπόκλιση τοῦ Ω ἀπὸ τὴν τιμὴ 1 (δηλαδὴ πόσο κοντὰ εἶναι ἡ τιμὴ τῆς πυκνότητας στὴν κριτικὴ τῆς τιμῆ) σὰν συνάρτηση τῆς ἀκτίνας τοῦ Σύμπαντος. Φαίνεται καθαρὰ λοιπὸν ὅτι καθὼς $R \rightarrow 0$, $\Omega \rightarrow 1$, ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὴν σημερινὴ τιμὴ τοῦ Ω_0 . Δηλαδή, στὰ ἀρχικὰ στάδια διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος ἡ κινητικὴ καὶ δυναμικὴ ἐνέργεια διαφέρουν ἀπειροστά. Ἐπειδὴ ἡ μικρότερη τιμὴ τοῦ R ποῦ μποροῦμε νὰ θεωρήσουμε εἶναι αὕτη γιὰ τὴν ὁποία τὰ κβαντικὰ φαινόμενα τῆς βαρύτητας γίνονται σημαντικὰ, δηλαδή τὸ μῆκος τοῦ Planck ($\approx 10^{-33}$ cm) ἐνῶ σήμερα $R_0 \equiv 10^{28}$ cm, ὁ λόγος R/R_0 εἶναι τῆς τάξεως τοῦ 10^{-60} , δηλαδή ἡ ἀρχικὴ πυκνότητα τοῦ Σύμπαντος ἔπρεπε νὰ ἦταν κοντὰ στὴν κριτικὴ πυκνότητα μὲ ἀκρίβεια 60 περίπου δεκαδικῶν ψηφίων. Αὕτη ἡ ἰσότητα κινητικῆς - δυναμικῆς ἐνέργειας εἶναι ὑπεύθυνη γιὰ τὸ ὅτι τὸ Σύμπαν κατάφερε νὰ περάσει ἀπὸ ὅλα τὰ στάδια τῆς θερμοκρασίας ἀπὸ $10^{32} \rightarrow 10^9 \rightarrow 3K$, χωρὶς ἡ διαστολὴ αὕτη νὰ σταματῆσιν ἢ χωρὶς ἡ διαστολὴ νὰ γίνεαι τόσο γρήγορα ὥστε νὰ καταστήσιν ἀδύνατη τὴν δημιουργία δομῆς στὸ Σύμπαν.

2.1γ Ἡ Δημιουργία Δομῆς (Γαλαξιδῶν)

Ἡ παρατηρούμενη ὁμοιογένεια τῆς ἀκτινοβολίας 3 K θέτει ἀμέσως ἓνα πρόβλημα. Τὴν δημιουργία τῶν μεγαλύτερων δομῶν ποὺ παρατηροῦμε στὸ Σύμπαν, δηλαδὴ τοὺς γαλαξίες καὶ τὰ σμήνη τῶν γαλαξιδῶν. Σὲ ἓνα ἀπόλυτα ὁμογενές, διαστελλόμενο Σύμπαν ἡ δημιουργία δομῆς ἀνάλογη αὐτῆς τῶν γαλαξιδῶν ποὺ παρατηροῦμε θὰ ἦταν ἀδύνατη. Ἡ δημιουργία τῶν γαλαξιδῶν προϋποθέτει τὴν ὑπαρξὴ μικρῶν διαταραχῶν (ἀνομοιογενειῶν) στὸ νεαρὸ Σύμπαν τῆς τάξεως $\Delta\rho/\rho \approx 10^{-5}$ τουλάχιστον. Ἐπειδὴ δὲ στὸ νεαρὸ Σύμπαν ὕλη καὶ ἀκτινοβολία εὐρίσκοντο σὲ ἐπαφή (λόγω τῆς μεγάλης πυκνότητος), ἀνομοιογένειες αὐτῆς τῆς τάξεως θὰ ἔπρεπε νὰ παρατηροῦνται καὶ στὴν ἀκτινοβολία 3 K ποὺ διαπερνᾷ τὸ Σύμπαν. Συνεπῶς, ἡ θερμοκρασία τῆς διαχύτου ἀκτινοβολίας θὰ ἔπρεπε νὰ μὴν εἶναι ὁμοιογενὴς σὲ ὅλη τὴν οὐράνια σφαῖρα, ἀλλὰ νὰ παρουσιάζει μικρὲς διακυμάνσεις. Σειρὰ πειραμάτων προσπάθησαν νὰ μετρήσουν τὴν ὑπαρξὴ καὶ τὸ μέγεθος αὐτῶν τῶν διαταραχῶν. Τελικὰ ἡ ἀνακάλυψή τους ἔγινε μὲ τὸν δορυφόρο COBE (Cosmic Microwave Background Explorer) ποὺ σχεδιάστηκε εἰδικὰ γιὰ τὴν μελέτη τῆς ἀκτινοβολίας 3K. Οἱ διαταραχὲς αὐτὲς δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο ἀπὸ μικρὲς διαφορὲς τῆς θερμοκρασίας τῆς διαχύτου ἀκτινοβολίας τῶν 3 K σὲ διαφορετικὲς κατευθύνσεις στὴν οὐράνια σφαῖρα (Σχῆμα 4). Οἱ διαφορὲς αὐτὲς τῆς θερμοκρασίας εἶναι τῆς τάξεως μερικῶν δεκάδων μικρο-Kelvin. Τὸ μέγεθός τους ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν γωνία ποὺ καλύπτουν στὴν οὐράνια σφαῖρα, καὶ ἡ κατανομή τους σὰν συνάρτηση τῆς γωνίας αὐτῆς προσδιορίζεται θεωρητικὰ ἀπὸ μοντέλα τῆς ἐξέλιξης τοῦ Σύμπαντος.

Οἱ διαταραχὲς αὐτὲς τῆς πυκνότητος τοῦ κοσμικοῦ πλάσματος δὲν εἶναι ἐντελῶς τυχαῖες. Ἐχουν μία ὀρισμένη κατανομή ἡ ὁποία εἶχε προβλεφθεῖ ἀνεξάρτητα ἀπὸ τοὺς Harrison καὶ Zeldovich στὶς ἀρχὲς τῆς δεκαετίας τοῦ '70. Ὁ συλλογισμὸς ποὺ ὀδηγεῖ στὴν κατανομή αὐτὴ εἶναι πολὺ γενικὸς καὶ εἶναι ὁ ἀκόλουθος. Οἱ διαταραχὲς αὐτὲς δὲν μποροῦν νὰ μεγαλώσουν παρὰ μόνον ὅταν τὸ μέγεθός τους γίνεῖ μικρότερο ἀπὸ τὸ μέγεθος τοῦ ὀρίζοντα (τὸ ὁποῖο αὐξάνει γραμμικὰ μὲ τὸν χρόνο). Τὸ τελικὸ ἀποτέλεσμα μιᾶς τέτοιας διαταραχῆς ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ πλάτος τῆς τὴν ἐποχὴ ποὺ τὸ μέγεθός της εἶναι ἴσο μὲ τὸ μέγεθος τοῦ ὀρίζοντα (μεγάλου πλάτος ὀδηγεῖ στὴν δημιουργία μελανῶν ὀπῶν, ἐνῶ μικρὸ πλάτος δὲν δημιουργεῖ δομὴ). Ἐπειδὴ δὲν ὑπάρχουν ἐνδείξεις τέτοιων καταστροφικῶν δομῶν (μεγάλου ἀριθμοῦ μελανῶν ὀπῶν διαφόρων μεγεθῶν) θὰ πρέπει τὸ πλάτος τῶν διαταραχῶν τὴν ἐποχὴ ποὺ τὸ μῆκος τοῦ ὀρίζοντα γίνεῖ ἴσο μὲ τὸ μῆκος τῶν ἀντιστοίχων διαταραχῶν νὰ εἶναι σταθερό. Ἀμέσως βέβαια γεννᾶται τὸ ἐρώτημα τῆς προέλευσης

των διαταραχών αυτών. Ειδικά διαταραχών μήκους μεγαλύτερου του ορίζοντα μίας ορισμένης εποχής στην εξέλιξη του Σύμπαντος.

2.2 Λύση των Προβλημάτων: Το Πληθωριστικό Σύμπαν (Inflation)!

Είναι φανερό από τα επιχειρήματα που δόθηκαν προηγουμένως ότι τα προβλήματα της θεωρίας του Big Bang (τα πρώτα δύο από τα τρία) οφείλονται στην ταχύτητα διαστολής του Σύμπαντος τις πρώτες στιγμές μετά την γέννησή του και ιδιαίτερα στον βαλλιστικό χαρακτήρα των εξισώσεων που δίνουν την διαστολή του Σύμπαντος.

Είναι διαισθητικά φανερό ότι η απαίτηση να φθάσει ένα βλήμα σε ένα ορισμένο ύψος με μηδενική ταχύτητα εξαρτάται από την ακρίβεια με την οποία μπορεί να καθορισθεί η αρχική του ταχύτητα και από το ζητούμενο ύψος. "Όσο μεγαλύτερο το ύψος αυτό, τόσο μεγαλύτερη και η ακρίβεια καθορισμού της αρχικής του ταχύτητας, ειδικότερα δε αν το ύψος αυτό είναι πολύ μεγαλύτερο από την ακτίνα της Γης. 'Η ταχύτητά του θα πρέπει να είναι κατά τι μικρότερη από την ταχύτητα διαφυγής των 11,2 χιλιομέτρων ανά δευτερόλεπτο. "Όσο μεγαλύτερη η όριακή απόσταση που θέλουμε να φθάσει το βλήμα, τόσο πιο κοντά στα 11,2 km/sec θα πρέπει να είναι η ταχύτητα αυτή, χωρίς όμως ποτέ να την υπερβαίνει (Flatness Problem). 'Επειδή η ταχύτητα διαφυγής (στο παράδειγμα του βλήματος, η ταχύτητα διαστολής του Σύμπαντος στην κοσμολογία) τείνει στο άπειρο, καθώς η ακτίνα της Γης (ήλικία του Σύμπαντος) τείνει στο μηδέν, είναι εύκολο να δει κανείς ότι η ακρίβεια καθορισμού της αρχικής ταχύτητας του Σύμπαντος τείνει και αυτή στο άπειρο (Flatness Problem). 'Επίσης, η ταχύτητα απομακρύνσεως δύο τυχαίων σημείων του χώρου τείνει και αυτή στο άπειρο. Αυτό δεν είναι αντίθετο με την βασική αρχή της Σχετικότητας διότι η ταχύτητα αυτή δεν αφορά την διάδοση πληροφορίας. Σημεία που απομακρύνονται με ταχύτητα μεγαλύτερη του c βρίσκονται απλώς έξω από τον ορίζοντα δεδομένου γεγονότος και επομένως δεν έχουν καμία σχέση αίτιας - αιτιατού (Horizon Problem).

Τα προβλήματα αυτά θα μπορούσαν να λυθούν αν βρισκόταν κάποιος τρόπος να αποκτήσει το Σύμπαν την ζητούμενη ταχύτητα βαθμιαία, δηλαδή αν υπήρχε κάποια επιτάχυνση στην διαστολή του Σύμπαντος, (π.χ. αν αντί για βαλλιστική κίνηση είχαμε ένα πύραυλο του οποίου την ταχύτητα θα μπορούσαμε να ρυθμίσουμε, θα ήταν σχετικά απλό να φθάσουμε σε όποια απόσταση από την Γη θέλουμε με όποια ταχύτητα θέλουμε). Δυστυχώς, οι εξισώσεις (5) ή (7) που δίνουν την διαστολή του Σύμπαντος προβλέπουν μόνο επιβράδυνση (βαλλιστική κίνηση) και δεν

ἀφήνουν πολλά περιθώρια για μιὰ τέτοια ἀλλαγὴ τῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος. Ὅμως, ἡ ζητούμενη ἀλλαγὴ τῆς δυναμικῆς τοῦ Σύμπαντος εἶναι δυνατὴ ἂν κανεὶς θεωρήσει στὶς ἐξισώσεις (5) ἢ (7) ἐκτὸς ἀπὸ τὴν συνεισφορά τῆς ἐνέργειας τῆς ὕλης καὶ τῆ συνεισφορά τῆς ἐνέργειας τοῦ κενοῦ. Τὸ κενὸν (vacuum) στὴν θεωρία κβαντικῶν πεδίων εἶναι ἀπλῶς ἡ κατάσταση ἀπουσίας (τῆς γνωστῆς) ὕλης. Δὲν σημαίνει ὅτι ἀναγκαστικὰ στερεῖται ἐνέργειας. Ἡ μορφή ἐνέργειας τοῦ κενοῦ (πιὸ ἀκριβολογικὰ ἢ καταστατικὴ του ἐξίσωση) εἶναι ἀκριβῶς αὐτὴ τῆς κοσμολογικῆς σταθερᾶς τοῦ Einstein. Ἡ παρουσία τῆς ἐνέργειας τοῦ κενοῦ ἀλλάζει τὴν μορφή τῆς ἐξισώσεως (5) ὡς ἐξῆς:

$$\dot{R}^2 + k = \frac{8\pi G}{3} (\rho_m + \rho_v) R^2 \quad (14)$$

ὅπου ρ_m, ρ_v εἶναι ἀντίστοιχα οἱ πυκνότητες ὕλης καὶ κενοῦ. Ἡ μεγάλη διαφορὰ μεταξύ τῶν δύο εἶναι ὅτι ἡ μὲν πυκνότητα ὕλης ἐλαττοῦται μὲ τὴν διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος, ἡ δὲ πυκνότητα τοῦ κενοῦ παραμένει σταθερά. Κατὰ τὴν διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος συνεπῶς, ἡ πυκνότητα τοῦ κενοῦ θὰ ὑπερσχύσει τελικὰ. Ἡ χρονικὴ περίοδος κατὰ τὴν ὁποία συμβαίνει αὐτὸ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ συγκεκριμένο μοντέλο, ἀλλὰ πιστεύεται ὅτι εἶναι πολὺ ὑψηλὴ, τῆς τάξεως τῶν 10^{28} K(!), ὅταν ἡ ἡλικία τοῦ Σύμπαντος ἦταν 10^{-35} sec! Μὲ τίς συνθήκες αὐτὲς ἡ λύση τῆς ἐξισώσεως (14) γίνεται πολὺ ἀπλὴ καὶ δίδει μιὰ ἐκθετικὴ αὐξηση τῆς ἀκτίνας τοῦ Σύμπαντος

$$R(t) = R_0 e^{Ht} \quad H = \sqrt{\frac{3}{8\pi G \rho_v}} \quad (15)$$

Ἡ ἐκθετικὴ αὐτὴ αὐξηση σημαίνει ὅτι ἡ ἀπόσταση σημείων τὰ ὁποῖα βρίσκονται σὲ αἰτιακὴ σχέση, δηλαδὴ ἐντὸς τοῦ ὀρίζοντα, «τεντώνεται» ἐκθετικὰ. Μπορεῖ λοιπὸν νὰ γίνῃ ἀπείρως μεγάλη, ἂν ἡ ἐκθετικὴ αὐτὴ αὐξηση διαρκέσει ἀρκετὰ. Ἐπομένως, περιοχὲς τοῦ χώρου ποὺ θεωροῦμε ὅτι ἤρθαν σὲ ἐπαφὴ μόλις πρόσφατα, ἦταν σὲ αἰτιακὴ ἐπαφὴ τὴν ἐποχὴ ποὺ ἄρχισε αὐτὴ ἡ ἐκθετικὴ αὐξηση τῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος (Λύση τοῦ προβλήματος τοῦ Ὀρίζοντα).

Παρομοίως, κατὰ τὴν διάρκεια τῆς ἐκθετικῆς αὐτῆς διαστολῆς ἡ ταχύτητα ἀπομακρύνσεως δύο σημείων στὸν χῶρο εἶναι ἐκθετικὴ, ἀλλὰ ἡ ποσοστιαία μεταβολὴ τῆς ἀποστάσεώς τους εἶναι σταθερὴ. Ἔτσι, ἡ ταχύτητα διαστολῆς αὐξάνεται βαθμιαῖα στὴν τιμὴ ποὺ χρειάζεται για νὰ ἰσοροπήσει τὴν ἔλξη τῆς βαρύτητας. Ἡ λύση τῆς ἐξισώσεως (14), θεωρώντας ὅτι ἡ πυκνότητα τῆς ὕλης ἐλαττώνεται σύμφωνα μὲ τὴν σχέση $\rho_m \propto 1/R^4$, ἐνῶ αὐτὴ τοῦ κενοῦ, ρ_v , παραμένει σταθερά, δίδει ἐκθετικὴ αὐξηση γιὰ τὴν ταχύτητα διαστολῆς, \dot{R} (στὸ ἀριστερὸ μέλος), καὶ

τὴν ἀκτίνα R (σὸ δεξιό), ἐνῶ ὁ ὅρος τῆς καμπυλότητας h παραμένει σταθερός. Ὁ ὅρος αὐτὸς λοιπὸν θὰ γίνῃ τελικὰ πολὺ γρήγορα ἀμελητέος, σὲ σχέση με τοὺς ἄλλους δύο, λύνοντας ἔτσι τὸ Πρόβλημα τῆς Ἑλικίας - Ἐπιπεδότητας τοῦ Σύμπαντος (Flatness Problem).

Κατὰ τὴν διάρκεια τῆς ἐκθετικῆς αὐτῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος, κατὰ τὴν ὁποία ἡ πυκνότητα ἐνεργείας τοῦ κενοῦ ὑπερισχύει, δημιουργοῦνται κβαντικὲς διαταραχὲς στὴν ἐνέργεια τοῦ κενοῦ ποὺ ἐπίσης ἀκολουθοῦν τὴν ἐκθετικὴ διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος καὶ «τεντώνονται» ἐκθετικὰ σὲ πολὺ μεγάλες ἀποστάσεις. Αὐτὲς ἔχουν πλάτος ποὺ ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὶς λεπτομέρειες τῶν κβαντικῶν ταλαντώσεων, εἶναι δηλαδὴ σταθερὸ σὲ ὅλα τὰ μήκη, ὅπως καὶ οἱ διαταραχὲς τῶν Harrison, Zeldovich.

Ἡ βαθμιαία αὐτὴ ἀύξηση τῆς ταχύτητας διαστολῆς (ἐπιτάχυνση) τοῦ Σύμπαντος (γνωστὴ μετὰ τὴν ὀνομασία inflation), βοηθᾷ ἔτσι στὴν ἐπίλυση τῶν προβλημάτων τοῦ ὀρίζοντα καὶ τῆς ἐπιπεδότητας τοῦ Σύμπαντος, καὶ παρέχει ἓνα πλαίσιο γιὰ τὴν δημιουργία τῶν διαταραχῶν ποὺ χρειάζονται γιὰ τὸν σχηματισμὸ τῶν γαλαξιδῶν. Ἡ ἐπιτάχυνση αὐτὴ καθορίζεται ἀπὸ τὴν τιμὴ τῆς πυκνότητας ἐνεργείας τοῦ κενοῦ. Ἐπειδὴ ἡ σύνθεση τῶν στοιχείων θέτει ὅρια στὴν ταχύτητα διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος ὅταν αὐτὴ ἔλαβε χώρα, ἡ περίοδος αὐτὴ τῆς ἐπιτάχυνσης (inflation) θὰ πρέπει νὰ ἔλαβε χώρα πολὺ πρὶν ἀπὸ τὴν ἐποχὴ συνθέσεως τῶν στοιχείων, καὶ θὰ πρέπει νὰ εἶχε ἐπίσης σταματήσει τὴν ἐποχὴ αὐτὴ. Ἡ ἐπιτάχυνση (inflation) σταμάτησε ὅταν, κατὰ τὴν θεωρία, ἡ ἐνέργεια τοῦ κενοῦ μετατράπηκε σὲ ἐνέργεια ὕλης καὶ ἀκτινοβολίας. Ἡ διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος κατόπιν θὰ πρέπει νὰ συνεχίσθηκε μετὰ τὸν κλασσικὸ τρόπο, δηλαδὴ χωρὶς τὴν ἐνέργεια τοῦ κενοῦ νὰ ὑπερισχύει ξανά.

2.3 Τὸ Βασικὸ Μοντέλο (The Standard Model) 1998

Μὲ τὴν ἐμφάνιση τοῦ πληθωριστικοῦ Σύμπαντος ἀρχίζει ἡ μοντέρνα ἐποχὴ τῆς κοσμολογίας. Τὰ προβλήματα τοῦ Big Bang φαίνονται νὰ ἔχουν βρεῖ λύση σὸ πλαίσιο ἐνὸς μοντέλου τὸ ὁποῖο φαίνεται εὐλόγο. Μάλιστα φαίνεται τόσο εὐλόγο ποὺ συχνὰ ἔχει ἐπικαλεσθεῖ ὡς ἀπάντηση σὲ πολλῶν εἰδῶν ἐρωτήσεις μετὰ τὶς ὁποῖες ἡ σύνδεσή του δὲν εἶναι τόσο ἄμεση. Ἡ βασικὴ του πρόβλεψη εἶναι ὅτι $\Omega=1$ καὶ ὅτι οἱ διαταραχὲς ἀκτινοβολίας 3 K ἔχουν τὴν κατανομὴ Harrison - Zeldovich. Οἱ παρατηρήσεις δείχνουν ὅτι, χονδρικὰ, συμφωνοῦν μετὰ αὐτὲς τὶς τιμές. Μόνο χονδρικὰ ὅμως. Δυστυχῶς ἡ τιμὴ τοῦ Ω δὲν εἶναι εὐκόλο νὰ μετρηθεῖ ἀκριβῶς. Ὅλη ἡ ὄρατὴ ὕλη (τὰ βαρυόνια) σὸ Σύμπαν φθάνει μόλις στὴν τιμὴ $\Omega_b = 0,005$. Ἄν

λάβουμε υπ' όψιν ότι ένα μεγάλο μέρος τών βαρυονίων δέν είναι όρατά (δέν άκτινοβολοϋν διότι είναι σέ μορφή που δέν άκτινοβολεί —π.χ. μελανές όπές, άστέρες πολύ χαμηλής λαμπρότητας), άνεβάζουν τήν αντίστοιχο τιμή του Ω_b σέ $\Omega_b = 0,01$, τιμή που είναι σέ γενική συμφωνία με τις προβλέψεις τής συνθήσεως τών στοιχείων (nucleosynthesis). "Όμως παρατηρήσεις δείχνουν ότι ή δυναμική τών γαλαξιών και τών σμηνών γαλαξιών κυριαρχείται από ύλη που δέν άκτινοβολεί, τήν «σκοτεινή ύλη» (Dark Matter), ή όποία συνεισφέρει τò 95-99 % τής ύλης στο Σύμπαν. Το Βασικό Μοντέλο θεωρεί λοιπόν ότι $\Omega = \Omega_b + \Omega_{DM} = 1$, με διαταραχές που έχουν τήν κατανομή τών Harrison - Zeldovich. Οί παρατηρήσεις τών διαταραχών τής άκτινοβολίας 3 K του COBE δείχνουν ότι ή κατανομή τους είναι συνεπής με αύτη τών Harrison - Zeldovich, (τουλάχιστον σέ γωνίες μεγαλύτερες 7 τών μοιρών) και έτσι έδραιώνουν τò Βασικό Μοντέλο (Standard Model), τò όποιο φαίνεται να έχει καθορίσει τις βασικές έννοιες τής κοσμολογίας, και τò μόνο που παραμένει είναι ή έπιβεβαίωσή του με παρατηρήσεις μεγαλύτερης άκρίβειας.

2.4 Ρωγμές στην θεωρία (;)

Ένω γενικά πιστεύεται ότι τò Βασικό Μοντέλο είναι άληθές (άν και χρειάζεται τήν παραδοχή 2 ειδών ύλης —τής γνωστής βαρυονικής και τής «σκοτεινής ύλης» καθώς και όρισμένες άλλες παραμέτρους), νέες παρατηρήσεις θέτουν μία από τις βασικές άρχές του σέ άμφιβολία. Αυτές οι παρατηρήσεις είναι αυτές υπερκαινοφανών άστέρων (supernovae) σέ μεγάλες άποστάσεις. Λόγω του ότι ή λαμπρότητά τους είναι καθορισμένη με άρκετή άκρίβεια, χρησιμοποιοϋνται για τόν προσδιορισμό κοσμολογικών άποστάσεων, δηλαδή τής γεωμετρίας του Σύμπαντος. Αυτές οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι ή γεωμετρία αύτη δέν είναι συμβατή με αύτη του Βασικού Μοντέλου (σύμφωνα με τò όποιο διαστολή του Σύμπαντος πρέπει να έπιβραδύνεται συνεχώς) αλλά άπαιτεί τήν παρουσία κοσμολογικής σταθεράς, τής όποίας ή ένέργεια είναι ή κύρια μορφή ένέργειας (κατά μέσο όρο) στο Σύμπαν και ή όποία προκαλεί τήν επιτάχυνση τής διαστολής του. Οί παρατηρήσεις αυτές όδηγοϋν σέ μια άναδιατύπωση τής θεμελιώδους άρχής του Βασικού Μοντέλου, ότι δηλαδή $\Omega = \Omega_b + \Omega_{DM} = 1$, ή όποία αλλάζει για να περιλάβει και τόν όρο τής κοσμολογικής σταθεράς. Αυτή γράφεται τώρα $\Omega = \Omega_b + \Omega_{DM} + \Omega_\Lambda = 1$ με $\Omega_\Lambda = 0.7$.

Η εύκολία με τήν όποία βασικές άρχές μετατοπίζονται για να συμβιβασθοϋν με τις παρατηρήσεις, κάνει τόν γράφοντα να έχει άμφιβολίες για τò πόσο βασικές είναι οι άρχές αυτές. Δυστυχώς δέν είναι μόνο ή εισαγωγή μίας άκόμη παραμέτρου που προκαλεί προβλήματα αλλά τò γεγονός ότι ή φυσιολογική τιμή τής πυκνότητας

του κενού θα έπρεπε να είναι του αυτού μεγέθους με την πυκνότητα του Σύμπαντος άμέσως μετά την γέννησή του, δηλαδή περίπου 10^{120} φορές μεγαλύτερη από αυτή που παρατηρείται. Αυτή η διαφωνία της θεωρίας με την παρατήρηση απαιτεί για την εξήγησή της καθορισμό των παραμέτρων των συγκεκριμένων μοντέλων με ακρίβεια της ίδιας τάξης με αυτή των αρχικών συνθηκών του Σύμπαντος που οδήγησαν στην εισαγωγή του πληθωριστικού μοντέλου! Η αδυναμία των μοντέλων να συμβιβασθούν με τις παρατηρήσεις χωρίς την εισαγωγή είτε αρχικών συνθηκών, είτε παραμέτρων που πρέπει να καθορισθούν με άπιθανη ακρίβεια ($1:10^{60}$), ίσως θέλει να μάς πεί κάτι πιο βαθύ από ό,τι τώρα καταλαβαίνουμε (π.χ. για την θεωρία βαρύτητας που χρησιμοποιούμε, ή για τις βασικές αρχές της φυσικής μας, που ίσως αποτυγχάνουν προεκτεινόμενες σε κοσμολογικές κλίμακες).

3. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ (2001 - ...)

Γενικά το Βασικό Μοντέλο έχει συνολικά 13 παραμέτρους. Από αυτές το πληθωριστικό μοντέλο μάς δίδει τις τιμές μόνον δύο, του $\Omega = \Omega_b + \Omega_{DM} + \Omega_\Lambda + \dots = 1$ και τον δείκτη n της κατανομής των διαταραχών της διαχύτου ακτινοβολίας 3K (Harrison - Zeldovich spectrum) που πρέπει να έχει την τιμή $n = 1$. Οι προσπάθειες των κοσμολόγων τα επόμενα 3-10 χρόνια συγκεντρώνονται στον ακριβή καθορισμό των παραμέτρων αυτών με παρατηρήσεις αυξανόμενης ακριβείας της ακτινοβολίας 3K, της κατανομής γαλαξιών, της σταθεράς του Hubble και άλλων κοσμολογικών ποσοτήτων. Ίδιαίτερα κρίσιμες είναι οι παρατηρήσεις των διαταραχών της ακτινοβολίας 3K από τον δορυφόρο Microwave Anisotropy Probe (MAP), ο οποίος πρόκειται να χαρτογραφήσει τις διαταραχές αυτές σε γωνίες της τάξης 0,2 μοιρών, δηλαδή 35 φορές μικρότερες από αυτή του COBE, και να θέσει τους πιο στενούς περιορισμούς στο Βασικό Μοντέλο.

Με την άνωμενόμενη εκτόξευση του δορυφόρου MAP και την χαρτογράφηση της κατανομής των γαλαξιών στο Σύμπαν από την Sloan Digital Sky Survey (SDSS), την ακριβέστερη μέτρηση της επιτάχυνσεως του Σύμπαντος, οι 13 παράμετροι που καθορίζουν την δυναμική του θα προσδιορισθούν με αρκετή ακρίβεια ώστε να επιβεβαιωθεί αν πραγματικά το απλούστερο μοντέλο του πληθωριστικού Σύμπαντος είναι συμβατό με τα δεδομένα ή απαιτείται ή εισαγωγή νέων παραμέτρων. Η κοσμολογία λοιπόν βρίσκεται σε ένα κρίσιμο σταυροδρόμι. Οποιαδήποτε και αν είναι τα νέα αποτελέσματα, θα δώσουν ουσιαστικά καινούργιες κατευθύνσεις στις ιδέες που διέπουν την κοσμολογία.

Ίσως τὸ πιὸ ἀπογοητευτικὸ ἀποτέλεσμα νὰ εἶναι αὐτὸ τῆς πλήρους συμφωνίας τῶν παρατηρήσεων μὲ κάποιον συνδυασμὸ τῶν 13 παραμέτρων. Θὰ σημαίνει αὐτὸ ὅτι καταλαβαίνουμε τὸ Σύμπαν; Κάθε ἄλλο. Φυσικὴ θεωρία μὲ 13 παραμέτρους θεωρεῖται μὴ ἱκανοποιητικὴ. (Θυμίζει τὴν Γεωκεντρικὴ θεωρίαν τοῦ Ἡλιακοῦ συστήματος μὲ τοὺς ἐπικυκλους τοῦ Πτολεμαίου, ἡ ὁποία μπορούσε νὰ ἐρμηνεύσει ὅλα τὰ δεδομένα, τῆς ἐποχῆς ἐκείνης, τῶν κινήσεων τῶν πλανητῶν μὲ τὴν εἰσαγωγὴ τῶν καταλλήλων ἐπικυκλικῶν τροχιῶν. Καθὼς γνωρίζουμε σήμερα, οἱ πραγματικὲς τροχιᾶς εἶναι ἐντελῶς διαφορετικὲς καὶ ἐρμηνεύονται μὲ τὸ Ἡλιοκεντρικὸ σύστημα). Στὴν περίπτωσιν αὐτῇ (τῆς πλήρους συμφωνίας μὲ τὸ —τροποποιημένο— βασικὸ μοντέλο) ἀναμένεται, ἀπὸ τὸν γράφοντα, νὰ ἀκολουθήσῃ μία ἀξιολόγησιν τῶν παραμέτρων αὐτῶν ὥστε νὰ περιορισθεῖ ἡ ἐλευθερία ποῦ παρέχουν καὶ νὰ καθορισθεῖ ποία ἀπὸ αὐτὰς εἶναι κυρίας καὶ ποία δευτερεύουσας σημασίας, ὥστε νὰ ἐπιχειρηθεῖ ἕνας πιὸ ἀκριβὴς προσδιορισμὸς τους καὶ σύγκρισή τους μὲ τὶς —τυχρὸν ὑπάρχουσες— θεωρητικὲς προβλέψεις.

Ἡ κατάσταση θὰ εἶναι πιὸ προσοδοφόρα γιὰ ἐξέλιξιν, ἂν τὰ ἀποτελέσματα δείξουν ὅτι ὑπάρχει κάποιον πρόβλημα μὲ τὸ βασικὸ μοντέλο. Τὸ πρόβλημα αὐτὸ ἀναμένεται νὰ δείξῃ τὴν κατεύθυνσιν τῶν νέων ἰδεῶν. Ἐλπίζεται ἀπὸ τὸν γράφοντα ὅτι ἔτσι τελικὰ θὰ χαραχθεῖ ὁ δρόμος ποῦ θὰ ὀδηγήσῃ σὲ μία θεωρίαν πιὸ θεμελιώδη ἀπὸ αὐτὴν ποῦ ἔχουμε σήμερα.

Ἄν μοῦ ἐπιτραπεῖ νὰ κοιτάξω πιὸ μακριὰ ἀπὸ τὸ χρονοδιάγραμμα τῶν παρατηρήσεων τῶν προσεχῶν 5-10 χρόνων στὰ προσεχῆ 25-50 χρόνια, βλέπω μία πορεία ἐξελίξεως τῆς κοσμολογίας καὶ γενικὰ ὅλης τῆς φυσικῆς ποῦ ἔχει σὰν βασικὴ τῆς ἀρχὴ τὴν πληροφορία (στὸν συλλογισμὸ αὐτὸν εἶμαι φανερὰ ἐπηρεασμένος ἀπὸ τὴν μοντέρνα τεχνολογία καὶ γενικὰ τὸ πνεῦμα τῆς ἐποχῆς). Τὰ φυσικὰ συστήματα ποῦ παρατηροῦμε, συμπεριλαμβανομένου καὶ αὐτοῦ τῆς ζωῆς, παράγουν, κατευθύνουν, καταναλίσκουν πληροφορία. Οἱ φυσικοὶ νόμοι ἀπλὰ μᾶς δείχνουν τοὺς κανόνες μὲ τοὺς ὁποίους γίνεται ὁ χειρισμὸς τῆς πληροφορίας. Οἱ δύο θεμελιώδεις θεωρίαι τοῦ 20οῦ αἰῶνα, ἡ θεωρία τῆς Σχετικότητας καὶ ἡ Κβαντικὴ θεωρία, ἔχουν σὰν βάση τους τὴν πληροφορία (ἡ ἄποψιν αὐτῇ, καθαρὰ προσωπικὴ τοῦ γράφοντος, ἴσως νὰ μὴν εἶναι προφανὴς στοὺς περισσοτέρους εἰδικούς καὶ ἴσως νὰ εἶναι καὶ ληθασμένη, ἀλλὰ δὲν νομίζω ὅτι εἶναι τετριμμένη). Ἡ πρώτη δίνει τὸ ὄριο ταχύτητος μετάδοσης πληροφορίας καὶ ἡ δευτέρα τὸ ὄριο πυκνότητος πληροφορίας. Τὰ φυσικὰ συστήματα μποροῦν λοιπὸν νὰ θεωρηθοῦν σὰν μηχανὲς τοῦ Turing (Turing machines) καὶ τὸ Σύμπαν σὰν τὴν μεγαλύτερη μηχανὴ τοῦ Turing. Ὁ χειρισμὸς τῆς πληροφορίας ὅμως χρειάζεται ἐλευθερὴ ἐνέργεια. Αὐτὴ τὴν παρέχει

ή βαρύτητα. Ο όριζων τῶν μελανῶν ὀπῶν, σύμφωνα με τὴν παραπάνω θέση, δὲν δίδει τίποτε περισσότερο ἀπὸ τὸ μέγιστο τῆς ἐλεύθερης ἐνέργειας ποὺ μπορεῖ νὰ προσφέρει μιὰ ὀρισμένη ποσότητα ὕλης. Παρομοίως καὶ ἡ ἔννοια τοῦ χρόνου ἔχει νὰ κάνει μετὰ τὴν ἐπεξεργασία τῆς πληροφορίας καὶ τῆ δημιουργία ὀλοένα πλεονόπλοκων δομῶν. Ὅταν π.χ. ἡ πολυπλοκότητα φθάσει στὸ μέγιστο, τότε ὁ χρόνος σταματᾷ (κατάσταση θερμοδυναμικῆς ἰσορροπίας).

Εἶναι ἡ προσωπική μου γνώμη ὅτι ποιοτικὰ καινούργιες ιδέες στὴν κοσμολογία θὰ πηγᾶσουν ἀπὸ μιὰ τέτοια ριζικὴ ἀναθεώρηση τῆς φυσικῆς (εἴτε πρὸς τὴν κατεύθυνση ποὺ δίδεται στὴν παραπάνω παράγραφο εἴτε πρὸς κάποια ἄλλη, μὴ προφανῆ πρὸς τὸ παρόν). Παραδείγματος χάριν, ἀν ἡ κατεύθυνση αὐτὴ εἶναι ὀρθή, ἡ θεώρηση τοῦ ποσοῦ καὶ τοῦ ποιοῦ τῆς πληροφορίας ποὺ ἀπαιτεῖται νὰ ἔχει τὸ Σύμπαν γιὰ νὰ δημιουργηθεῖ, πιθανὸν νὰ ὀδηγήσει σὲ μιὰ νέα, μαθηματικὴ πλέον, θεώρηση τῆς ιδέας τῆς Ἰπαρξῆς καθᾶυτὴν καὶ τοῦ Μυστηρίου τῆς Δημιουργίας. Ἐπειδὴ ὅμως τὰ θέματα αὐτά, πρὸς τὸ παρόν ταυλάχιστον, ἀνήκουν στὸν τομέα τῆς Μεταφυσικῆς, ἐνῶ ἐγὼ θὰ ἤθελα νὰ περιορισθῶ στὸν τομέα τῆς Φυσικῆς, ἐδῶ εἶναι τὸ κατάλληλο σημεῖο νὰ σταματήσω.