

ΤΕΤΑΡΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΦΥΣΙΚΗ*

Τ' ἄστρα τοῦ Κύκνου κι' ἐκεῖνο τ' ἄστρο ὁ Ἀλδεβαράν
Γ. Σεφέρης

Μέ τή θεωρία τῆς βαρύτητας τοῦ Einstein ἀνανεώθηκε, ὅπως εἶναι γνωστό, τό ἐνδιαφέρον γιά τήν κοσμολογία. Ἡ ἐπιστήμη αὐτή ὑποτίθεται ὅτι ἐξετάζει τό σχηματισμό, τή δομή καί τήν ἐξέλιξη τοῦ «Σύμπαντος». Ἀλλά ἕνας τέτοιος ὀρισμός εἶναι ἐπιστημονικά νόμιμος; Ἔχουμε δηλαδή τό δικαίωμα νά δεχτοῦμε ὅτι τό σύμπαν εἶναι πεπερασμένο, ὥστε νά μιλάμε γιά τόν ὄγκο, τή μάζα, ἢ τήν ἡλικία του, κλπ; Ἔχουμε ἐπίσης τό δικαίωμα νά γενικεύουμε γιά τό «Σύμπαν» δεδομένα πού προέρχονται ἀπό τό προσιτό τμήμα του; Γιατί ὅτι γνωρίζουμε ἀφορᾶ τό «περιβάλλον» μας καί θά ἦταν ἐπιστημονικότερο νά μιλάμε - προκειμένου γιά τήν κοσμολογία - γιά τήν ἐπιστήμη τοῦ κόσμου «μας», παρά γιά τήν ἐπιστήμη τοῦ Σύμπαντος. Μ' αὐτό τόν περιορισμό, θά μπορούσαμε νά θεωρήσουμε τήν κοσμολογία σά φυσική ἐπιστήμη, δηλαδή σάν κλάδο πού ἔχει ξεπεράσει τό ἰδεολογικό statut του¹.

* Δημοσιεύθηκε στήν *Ἐπιθεώρηση Φυσικῆς*, 6, Μάρτιος 1980. Τό γαλλικό κείμενο θά δημοσιευθεῖ στήν ἐπιθεώρηση *La Pensée*.

1. Ὅλοι οἱ λαοί ἔχουν τή μυθική κοσμολογία τους. Παρά τά θετικά στοιχεῖα της, ἡ κοσμολογία λ.χ. τῶν Ὀρφικῶν (μῆ - γεωκεντρικό σύστημα) εἶναι μυθολογική, ὅπως εἶναι καί ἡ κοσμολογία τοῦ Ἡσίοδου ἢ ἡ βιβλική κοσμολογία. Τό κοσμολογικό, γεωκεντρικό πρότυπο τοῦ Ἀριστοτέλη, ἔχει ἔντονα ἰδεολογικό χαρακτήρα, ὅπως καί τό Πτολεμαϊκό, παρά τίς ἀστρονομικές προόδους πού ἔγιναν στό μεταξύ. Μέ τό ἔργο τοῦ Κοπέρνικου, τοῦ Γαλιλαίου, τοῦ Κέπλερ καί τοῦ Νεύτωνα, διαμορφώθηκε ἕνα πρῶτο ἐπιστημονικό κοσμολογικό πρότυπο. Ἀλλά καί τό πρότυπο αὐτό περιέχει ἰδεολογικά στοιχεῖα, τόσο στίς ἀφετηριακές παραδοχές (κενό, ἄτομα, ἀλληλεπιδράσεις μέ ἄπειρη ταχύτητα), ὅσο καί στή γενετική ἐξάρτηση τοῦ σύμπαντος, ἀπό μιά ἐξωκοσμική βούληση. (Μέ τόν ὄρο *ἰδεολογία* ἐννοοῦμε στή συγκεκριμένη αὐτή περίπτωση τό μῆ ἐπιστημονικό, τή φανταστική ἀπεικόνιση τῆς πραγματικότητας).

4.1. Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Ἡ ἀστροφυσική καί ἡ κοσμολογία εἶναι ὁ χῶρος τῶν ἀσύλληπτων ἀντιθέσεων. Σήμερα ἡ προσιτή περιοχή τοῦ σύμπαντος ἐκτείνεται σέ ἀπόσταση 10 δισεκ. ἐτῶν φωτός. Ἀνατρέχοντας τήν προῖστορία του, φτάνουμε σέ 12 δισεκ. χρόνια πρὸς τό παρελθόν. Οἱ μάζες τῶν οὐρανίων σωμάτων εἶναι ἐξίσου ἀσύλληπτες: $1,9 \cdot 10^{33}$ gr γιά τή μάζα τοῦ ἡλίου καί 10 - 100 δισεκ. φορές τή μάζα τοῦ ἡλίου γιά τούς μεγάλους γαλαξίες. Σέ μιά ἀντίστροφη κλίμακα μελετιόνται διαδικασίες πού διαρκοῦν 10^{-23} δευτερόλεπτα, ἀποστάσεις τῆς τάξεως τῶν 10^{-13} ἑκατοστῶν (πυρῆνες) καί σωμάτια μέ μάζα τῆς τάξεως τῶν 10^{-28} γραμμαρίων. Ἡ πυκνότητα τῆς πυρηνικῆς ὕλης εἶναι τῆς τάξεως τῶν μερικῶν δισεκατ. τόννων κατά κυβικό ἑκατοστό, ἐνῶ ἡ μέση πυκνότητα ὕλης τοῦ γνωστοῦ τμήματος τοῦ σύμπαντος εἶναι ἴσως 3×10^{-31} gr/cm³, καί ἡ μέση πυκνότητα ἀκτινοβολίας 3×10^{-13} ἔργια ἀνά κυβικό ἑκατοστό!

Ἡ ὕλη αὐτή μέ τίς ἀκραῖες ἀντιθέσεις εἶναι ὀργανωμένη σέ οὐράνια σώματα, γαλαξίες, ομάδες γαλαξιῶν, ὑπεργαλαξίες, κλπ. Σέ ἀπόσταση μικρότερη ἀπό 1,3 Mpc ἀπό μᾶς², ὑπάρχει ἡ τοπική ομάδα πού περιλαμβάνει 27 γαλαξίες. Ἀνάμεσα 1,3 καί 2,4 Mpc δέν ὑπάρχουν γαλαξίες. Πέρα ἀπό ἐκεῖ ἐκτείνεται ἕνας μέγανος ἀριθμός γαλαξιῶν καί γαλαξιακῶν συστημάτων. Ὁ γαλαξίας μας περιλαμβάνει 100 δισεκ. ἄστρα. Καί σίγουρα ὑπάρχουν δισεκατομμύρια γαλαξίες. Τά οὐράνια αὐτά σώματα κινοῦνται μέ ἀσύλληπτες ταχύτητες. Ἡ γῆ στρέφεται γύρω ἀπό τόν ἡλιο μέ 30 χιλιόμετρα τό δευτερόλεπτο. Ὁ ἡλιος γύρω ἀπό ἕνα γαλαξιακό κέντρο, μέ 250 χιλ. τό δευτερόλεπτο. Ὁ γαλαξίας ὀλόκληρος (μάζα $2 \cdot 10^{44}$ gr), πιθανόν μετατοπίζεται ὡς πρὸς τήν τοπική ομάδα, μέ 100 χιλιόμ. τό δευτερόλεπτο. Ἡ τοπική ομάδα μέ τή σειρά της μετατοπίζεται, σέ σχέση μέ μιά ὑπερομάδα γαλαξιῶν, μέ ταχύτητα μερικές ἑκατοντάδες χιλιόμετρα τό δευτερόλεπτο. Σώματα μέ ἀφάνταστη μάζα, κινοῦνται μέ ταχύτητες πού πλησιάζουν τήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Καί τό φῶς (πού ἡ ταχύτητά του εἶναι ἴση μέ 300.000 χιλιόμ. τό δευτερόλεπτο), χρειάζεται 3,26 δισεκ. ἔτη γιά νά φτάσει σέ μᾶς ἀπό κάποιο ἄστρο πού ἀπέχει «μόνο» 1 Gpc.

Μέ τήν ἀσύλληπτη αὐτή πραγματικότητα ἀσχολεῖται ἡ κοσμολογία καί φιλοδοξεῖ νά τήν περιγράψει καί νά τήν ἐρμηνεύσει «συνολικά». Αὐτό ὅμως πού κάνει οὐσιαστικά, εἶναι ὅτι ἐπιχειρεῖ νά περιγράψει καί νά ἐρμηνεύσει τό *προσιτό* τμήμα τοῦ σύμπαντος. Ὄταν ἀποφαίνεται γιά τό σύμπαν, δέν κάνει ἄλλο ἀπό τό νά γενικεύει δεδομένα ἐνός πεπερασμένου μέρους του.

2. 1 pc (Parsec) ἀντιστοιχεῖ σέ $3,08 \times 10^{18}$ cm = 3,26 ἔτη φωτός. 1 mpc (Megaparsec) εἶναι ἴσο μέ 10^6 pc, καί 1 gpc (Gigaparsec) εἶναι ἴσο μέ 10^9 pc.

4.2. Κοσμολογικά πρότυπα

Οι πρώτες απόπειρες νά λυθεί τό κοσμολογικό πρόβλημα μέ βάση τή θεωρία του Νεύτωνα, ανάγονται κυρίως τό 19ο αιώνα. Τά νευτώνια πρότυπα στηρίζονταν στην κοσμολογική άρχή, κατά τήν όποία ή κατανομή τής ύλης στό σύμπαν είναι όμογενής και ισότροπη³. Ταυτόχρονα προϋπέθεταν ότι τό σύμπαν είναι στάσιμο. Οι απόπειρες αυτές απέτυχαν, γιατί κάτω από αυτές τίσ συνθήκες δέ μπορεί νά ύπάρξει νευτώνια λύση.⁴

Τό κλασικό σύμπαν θεωρείται άπειρο, τουλάχιστον στό χώρο. Αύτή ή άπειρότητα όδήγησε σέ μία σειρά αντιφάσεις. Κατά τό φωτομετρικό παράδοξο του Σήλιγκερ, λ.χ., αν τό σύμπαν περιείχε άπειρο άριθμό άστέρων, ή φωτεινότητα σέ κάθε σημείο του χώρου θά έπρεπε νά είναι άπειρη. Επίσης αν τό σύμπαν περιείχε άπειρη ποσότητα ύλης, περίπου όμοιόμορφα κατανεμημένη, ή ένταση του πεδίου τής βαρύτητας θά έπρεπε νά είναι άπειρη σέ κάθε σημείο. Για νά αποφευχθεί ή αντίφαση, θά μπορούσε ίσως νά γίνει δεκτό ότι τό σύμπαν έχει ένα είδος κέντρου μέ μέγιστη πυκνότητα, ή όποία μειώνεται, φτάνοντας στό μηδέν, σέ μακρινές αποστάσεις. Πέρα από τό όριο αυτό θά έπρεπε νά ύπάρχει μία άπέραντη περιοχή κενού.

Η θεωρία τής σχετικότητας συνδέθηκε από τήν άρχή μέ τό κοσμολογικό πρόβλημα. Ήδη τό 1917 ό Αϊνστάιν, δεχόμενος μία σταθερή κατανομή τής ύλης μέ μέση πυκνότητα ανεξάρτητη από τό σημείο του χώρου, κατάληξε στη δυνατότητα για ένα πεπερασμένο σύμπαν: «Από τήν παραδοχή μας για τήν όμοιόμορφη κατανομή των μαζών πού γεννούν τά πεδία, έπεται ότι ή καμπυλότητα του άπαιτούμενου χώρου πρέπει νά είναι σταθερή. Μ' αύτή λοιπόν τήν κατανομή των μαζών, τό άπαιτούμενο πεπερασμένο συνεχές των X_1 X_2 X_3 μέ σταθερό X_4 , θά είναι ένας σφαιρικός χώρος».⁵ Φυσικά ό Αϊνστάιν σημειώνει ότι ή καμπυλότητα του χώρου είναι μεταβλητή από σημείο σέ σημείο και

3. Όμογενής: ή ίδια σ' όλα τά σημεία του χώρου. Ίσότροπη: ή ίδια πρός όλες τίσ κατευθύνσεις (δέν ύπάρχει προνομιούχα κατεύθυνση).

4. H. Bondi, *Cosmology*, Cambridge, Un. Press, 1968, σελ. 75 και έπ.

5. Ο Einstein διατύπωσε ένα στάσιμο πρότυπο. Στο πρότυπο αυτό ό μέσος ύλικός τανυστής πρέπει νά είναι σταθερός. Αλλά τό πρότυπο δέν ήταν σταθερό, γιατί κυριαρχούσαν οι έλκτικές βαρυτικές δυνάμεις. Για νά τίσ αντιρροπήσει, ό Einstein πρόσθεσε τήν κοσμολογικά σταθερά λ. Οι εξισώσεις γίνονται τώρα: $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \lambda g_{\mu\nu} = -KT_{\mu\nu}$ (1) ($g_{\mu\nu}$) συναρτησεις όρμης - ενέργειας). Αν $\lambda > 0$, μέ όμοιόμορφη κατανομή ύλης, έχουμε ένα χώρο καμπύλο και πεπερασμένο, χωρίς όρια. Ο Einstein θεώρησε ότι για $\lambda > 0$, οι εξισώσεις (1) δέν έχουν λύση, όταν $T_{\mu\nu} = 0$ (κενό). Ωστόσο ό De Sitter απέδειξε (1917) ότι οι (1) έχουν λύση για $T_{\mu\nu} = 0$. Η λύση αύτή αντιπροσωπεύει ένα διαστελλόμενο σύμπαν.

χρονικά, αλλά ότι κατά προσέγγιση μπορούμε νά δεχτούμε τό σφαιρικό χῶρο.⁶

Πέντε χρόνια μετά τήν ἀπόδειξη τοῦ de Sitter, ἔγινε ἄλλο ἓνα ἀποφασιστικό βήμα ὑπέρ τοῦ διαστελλόμενου σύμπαντος. Πράγματι τό 1922 ὁ A. Friedmann ἀπέδειξε ὅτι οἱ ἐξισώσεις τῆς βαρύτητας δέχονται τόσο στάσιμες, ὅσο καί μή στάσιμες λύσεις.

Ἐκ τῆς ἐποχῆς ἐκείνης ἀρχίζει μιά ὁλόκληρη ἱστορία κοσμολογικῶν προτύπων. Τό ὄνομα τοῦ Friedmann συνδέθηκε μέ τό μή στάσιμο (διαστελλόμενο) πρότυπο. Πρέπει πάντως νά εἰπωθεῖ ἀπό τήν ἀρχή, ὅτι ἡ θεωρία τῆς βαρύτητας τοῦ Einstein δέν δίδει μιά καί μοναδική λύση στό πρόβλημα. Ἀνάλογα μέ τίς προϋποθέσεις, μπορεῖ νά καταλήξει κανεῖς σ' ἓνα κλειστό (καί πεπερασμένο) σύμπαν, σέ ἓνα ἀνοιχτό (καί ἄπειρο), σέ ἓνα διαστελλόμενο ἢ στάσιμο σύμπαν, σέ συστελλόμενο καί διαστελλόμενο, κλπ.⁷ Πάντως τά βασικά πρότυπα εἶναι τό μή στάσιμο (διαστελλόμενο) καί τό σύμπαν σταθερᾶς καταστάσεως (steady state universe). Ὑπάρχουν ἐπίσης ἡμιστάσιμα πρότυπα, καί τό 1965 ὁ Hoyle ἀπέδειξε ὅτι ὑπό ὀρισμένους ὅρους οἱ ἐξισώσεις τοῦ στάσιμου σύμπαντος συνεπάγονται τή δυνατότητα παλλόμενων προτύπων, ὅπου μιά περιοχή διαστέλλεται ἐνῶ ἄλλη συστέλλεται. Ἡ ἀστροφυσική καί ἡ φυσική τῶν μικροσωματίων ἔδωσαν τά τελευταῖα χρόνια νέο ὑλικό γιά τά διάφορα κοσμολογικά πρότυπα.

Θά συζητήσουμε τώρα τό ἐπικρατέστερο ἀπό τά κοσμολογικά πρότυπα: τό πρότυπο Friedmann - Lemaitre. Ἡ ἱστορία πού διηγεῖται αὐτό τό πρότυπο, εἶναι συναρπαστική. Ὡστόσο οἱ τολμηρές ἂν ὄχι ἰδεολογικές γενικεύσεις τῆς, προκαλοῦν ἀθόρμητα μιά κριτική στάση ἀπέναντί τῆς.

Ὅπως γράψαμε στήν προηγούμενη ὑποσημείωση, ὁ De Sitter, ἀντίθετα μέ τόν Einstein, εἶχε ἀποδείξει ὅτι εἶναι δυνατόν ἓνα διαστελλόμενο σύμπαν. Ὡστόσο τό σύμπαν αὐτό θά ἔπρεπε νά εἶναι περίπου κενό (ἡ πυκνότητα τῆς ὕλης θά ἔπρεπε νά τείνει πρός τό μηδέν). Ἐπίσης τό 1922 ὁ H. Weyl παρατήρησε, ὅτι στό σύμπαν τοῦ De Sitter, δύο δοκιμαστικά σωμάτια θά ἀπομακρύνονταν μεταξύ τους. Ἄν λοιπόν

6. A. Einstein in: The Principle of Relativity, Dover

7. Ἄν ἡ συνάρτηση R πού ὑπεισέρχεται στίς ἐξισώσεις, εἶναι σταθερή, τό σύμπαν εἶναι στάσιμο. Ἄν εἶναι ἀξέουσα, τό σύμπαν διαστέλλεται. Ἄν εἶναι φθίνουσα, τό σύμπαν συστέλλεται. Σύμφωνα μέ τό νόμο τοῦ Hubble, ἡ παράγωγος τῆς R εἶναι θετική, ἄρα ἡ R ἀξέουσα. Τό «σύμπαν» συνεπῶς διαστέλλεται καί ἡ ἡλικία του ὑπολογίστηκε κατά καιρούς σέ 10, 13, 18, 20 δισ. χρόνια. Ἀλλά ἄς μὴν ξεχνοῦμε τίς ἀπλουστεύσεις καί τίς ἀθαίρετες παραδοχές πού ἀπαιτοῦν αὐτές οἱ γενικεύσεις.

τά σωματία ήταν πηγές φωτός, τό φῶς τους θά πάθαινε μιά μετατόπιση πρὸς τό ἔρυθρό.

Ἡ δυνατότητα γιά ἓνα διαστελλόμενο σύμπαν εἶχε λοιπόν τεθεῖ. Ἐν τῷ μεταξύ τήν ἴδια περίοδο (1922) ὁ A. Friedmann ἀπέδειξε, μέ βάση τίς ἐξισώσεις τοῦ Einstein, ὅτι τό στάσιμο σύμπαν εἶναι ἀσταθές καί ὅτι θά ἔπρεπε νά διαστέλλεται ἢ νά συστέλλεται, ἀνάλογα μέ τή μέση πυκνότητα τῆς ὕλης.

Δυό χρόνια ἀργότερα θά γινόταν τό ἀποφασιστικό βῆμα πρὸς τίς θεωρίες τοῦ διαστελλόμενου σύμπαντος. Πράγματι ὁ Hubble ἐξακρίβωσε ὅτι στό νεφέλωμα τῆς Ἀνδρομέδας ὑπῆρχε ἓνα ἄστρο γνωστοῦ τύπου. Ἄρα τό νεφέλωμα περιεῖχε ἄστρα, ὅπως τοῦ δικοῦ μας γαλαξία. Ἦταν λοιπόν γαλαξίας ὅμοιος μέ τό δικό μας καί βέβαια ἔξω ἀπό τό γαλαξία μας. Μέ τήν ἀνακάλυψη αὐτή γεννήθηκε ἡ ἐξωγαλαξιακή ἀστρονομία, ἀλλά ἀπό μιά ἄποψη, καί ἡ κοσμολογία. Σύντομα θά βεβαιωνόταν ὅτι ὁ χῶρος οἰκεῖται ἀπό δισεκατομμύρια γαλαξίες, πού κατά τά φαινόμενα βρίσκονται σέ ἀμοιβαία φυγή, ἄρα σέ διαστολή.

Ἡ μαθηματική τεκμηρίωση τῆς διαστολῆς δέν ἐπρόκειτο νά βραδύνει. Πράγματι ὁ Lemaitre ἀπέδειξε τό 1927 ὅτι οἱ ἐξισώσεις τοῦ Einstein ὀδηγοῦν σ' ἓνα διαστελλόμενο πρότυπο, πού προβλέπει μιά μετατόπιση τοῦ φάσματος τῶν γαλαξιῶν πρὸς τό ἔρυθρό. Μετά ἀπό δυό χρόνια περίπου, ὁ Hubble ἀνακάλυψε πράγματι μιά μετατόπιση πρὸς τό ἔρυθρό, σύμφωνη μ' αὐτή πού πρόβλεπε ἡ ἐργασία τοῦ Lemaitre. (Ἄξιζει νά σημειωθεῖ ὅτι ἡ ἐργασία τοῦ Lemaitre ἦταν τότε ἄγνωστη. Τήν ἀνακάλυψε ἀργότερα καί τυχαῖα ὁ Eddington, πού βρῆκε σ' αὐτή μιά θεωρητική ἐρμηνεία τῶν παρατηρήσεων τοῦ Hubble). Κατά τό Hubble, συνεπῶς, τό ἐξωγαλαξιακό σύμπαν διαστέλλεται ὁλόκληρο, καί οἱ ταχύτητες φυγῆς τῶν γαλαξιῶν ἀρχίζουν ἀπό τά 1000 χιλιόμ. τό δευτερόλεπτο, γιά νά φτάσουν τίς 100.000 χιλιόμ. γιά τούς πιό μακρινούς γαλαξίες. Ἡ ταχύτητα φυγῆς τῶν γαλαξιῶν εἶναι ἀνάλογη μέ τήν ἀπόσταση καί μπορεῖ νά μετρηθεῖ ἀπό τή μετατόπιση πρὸς τό ἔρυθρό, σύμφωνα μέ τό νόμο Doppler - Fizeau⁸. Τόν ἐπόμενο χρόνο ὁ Lemaitre διατύπωσε τήν ὑπόθεση ὅτι τό σύμπαν προῆλθε ἀπό τήν ἔκρηξη κάποιου πρωταρχικοῦ ἀτόμου (πρότυπο τοῦ πρωταρχικοῦ ἀτόμου) καί διαστέλλεται ἀδιάκοπα ἀπό τή στιγμή τῆς ἔκρηξης. Τίς ιδέες αὐτές τίς ξαναπῆρε ὁ Gamow στήν περίοδο 1948-49, καί τίς ἀνάπτυξε μέ βάση νεώτερα δεδομένα καί προπαντός μέ βάση τή γνώση τῆς πυρηνικῆς χημείας καί

8. Ἡ ταχύτητα φυγῆς δίδεται ἀπό τόν τύπο: $v = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ ὅπου c ἡ ταχύτητα τοῦ

φωτός καί $\Delta\lambda$ ἡ μεταβολή τοῦ μήκους κύματος λ . Ἡ ταχύτητα αὐτή ἐξάλλου εἶναι ἀνάλογη μέ τήν ἀπόσταση: $v = H \cdot D$ ὅπου H ἡ σταθερά τοῦ Hubble (περίπου $75 \text{ Km sec}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} + 25\%$) καί D ἡ ἀπόσταση μέ Mpc .

της φυσικής των στοιχειωδών σωματίων. Μέ τό όνομά του συνδέθηκε ό δρος Bing - Bang, πού σημαίνει «μεγάλη έκρηξη».

Έτσι ή άρχική καί αυθαίρετη ιδέα του Lemaitre τεκμηριώθηκε μέ ύλικό άπό τό χώρο της άστροφυσικής, της φυσικής των στοιχειωδών σωματίων καί άπό νεώτερα κοσμολογικά δεδομένα. Οί θεωρητικοί ύπολόγισαν τήν «ήλικία» του σύμπαντος (4, 6, 10, 13, 18 δισ. χρόνια) τή «μάζα» του (10^{54} γραμ.), τίς διαδοχικές θερμοκρασίες του καί τίς φάσεις της εξέλιξής του!

Θά σκιαγραφήσουμε τώρα τίς κύριες φάσεις αυτής της εξέλιξης, όπου ή έπιστημονική τόλμη, οί ιδεολογικές καταβολές καί ή φιλοσοφική άφέλεια, συνυπάρχουν κατά τρόπο μοναδικό.

Ύποτίθεται κατά κάποιο τρόπο ότι ή ζωή του σύμπαντος άρχίζει μέ τήν άρχική έκρηξη σέ χρόνο $t=0$. (Θά σημειώσουμε παρακάτω τίς δυσκολίες πού αντιμετώπιζει μιá τέτοια παραδοχή). Ή πρώτη περίοδος είναι ή λεγόμενη *κβαντική*. Για χρόνο $t=0$, είναι άδύνατο νά προσδιοριστεί ή κατάσταση του «σύμπαντος», πού ή πυκνότητά του τείνει στό άπειρο. Τά παρατηρησιακά δεδομένα είναι πρακτικά άνύπαρκτα για $t < 10^{-4}$ sec. Για χρόνο $t = 10^{-43}$ sec, ύποτίθεται ότι ό κοσμολογικός όρίζοντας είναι ίσος μέ τό μήκος Planck: $L_p = 10^{-33}$ cm. Ή «γεωμετρία» είναι άπροσδιόριστη καί άγνωστη. Ωστόσο, μόλις 10^{-13} sec άπό τήν άρχική έκρηξη, ό τρισδιάστατος χώρος έχει έπεκταθει άρκετά. Ή πυκνότητα της ύλης είναι τώρα περίπου 10^{38} φορές μεγαλύτερη άπό τήν πυκνότητα της πυρηνικής ύλης! Στήν «πρώτη» αυτή στιγμή, ή ύλη βρίσκεται σέ κατάσταση θερμοϋ πλάσματος. Τό «σύμπαν» πρακτικά άποτελείται άπό μείγμα φωτονίων, ήλεκτρονίων, μιονίων, νετρίνο, νουκλεονίων καί αντινουκλεονίων. Οί αναλογίες των σωματίων μεταβάλλονται μέ τή θερμοκρασία.

Γύρω στά 10^{-6} sec ύπάρχουν σχεδόν όλα τά σωματία. Τά σωματία καί τά αντισωματία χωρίζονται, καί τά ήλεκτρόνια έξασφαλίζουν τήν ήλεκτρική ουδετερότητα. (περίοδος διαχωρισμοϋ). Γύρω στά 10^{-5} sec ή πυκνότητα της ύλης είναι περίπου 10^{15} gr/cm³ καί ή θερμοκρασία 4×10^{12} βαθμοί. Τά νουκλεόνια καί τά αντινουκλεόνια αναμιγνύονται καί άλληλοεκμηδενίζονται (άρχή της περιόδου εκμηδενισμοϋ). Άπό τά άρχικά νουκλεόνια έπέζησε περίπου τό 1 δισεκατομμυριοστό, πού ήταν τό άρχικό πλεόνασμα.

Γύρω στά 10^{-4} δευτερόλεπτα, τό σύμπαν έζησε τήν *άδρονική περίοδο*. Ή μέση ένέργεια είναι τώρα τέτοια, ώστε νά γίνεται δυνατή ή παραγωγή π-μεσονίων (άδρόνια). Όσο ανατρέχουμε πρός τά πίσω βρίσκουμε πιό βαρειά σωματία πού γεννιοϋνται κατά ζεύγη (K- μεσόνια, πρωτόνια - αντιπρωτόνια, νετρόνια - αντινετρόνια, ύπερόνια - αντιυπερόνια). Τά

νουκλεόνια βαθμιαία εξαφανίζονται, και μετά απ' αυτά εξαφανίζονται και τα π-μεσόνια. Παραμένουν φωτόνια, ηλεκτρόνια, νετρίνο και τό αρχικό πλεόνασμα νουκλεονίων.

Από τά 10^{-4} sec ως τά 15 λεπτά περίπου, τό σύμπαν ζει τή λεπτονική περίοδο. Στά 10^{-2} sec ή θερμοκρασία είναι γύρω στους 10^{11} βαθμούς. Η ακτινοβολία αποτελείται από ένα αδιαφανές αέριο φωτονίων, ηλεκτρονίων και νετρίνο, σε θερμοδυναμική ισορροπία. Η ύπαρξη πυρήνων είναι ακόμα αδύνατη. Στά 10sec ή θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από 10^{10} βαθμούς και ή σύντηξη πρωτονίων και νετρονίων για παραγωγή δευτερονίων είναι δυνατή. Γύρω στό 1 λεπτό αυξάνει απότομα ή παραγωγή He^4 . Τό δευτέριο μειώνεται, τό He^3 αυξάνει, εμφανίζεται τό Li και άλλοι πυρήνες. Γύρω στό 15 λεπτά ή πτώση τής θερμοκρασίας είναι τέτοια, ώστε γά μή συνεχίζονται οί πυρηνικές αντιδράσεις. Η «ύλη» αποτελείται τώρα κατά 75% από υδρογόνο και κατά 25% από ήλιο. Στο τέλος τής περιόδου μένουν τά φωτόνια και τά επιζώντα πρωτόνια και ηλεκτρόνια, καθώς και νετρίνο πού δέν παίζουν ουσιαστικό ρόλο.

Ακολουθεί μιά μακρά περίοδος, ή περίοδος ακτινοβολίας, (radiation era), πού διαρκεί μέχρι τά 10^4 ή 10^6 έτη. Στην περίοδο αυτή δέ μειώνεται ο αριθμός τών φωτονίων, αλλά μειώνεται ή πυκνότητά τους, εξαιτίας τής διαστολής. Επίσης ή μέση ενέργεια τών σωματίων μειώνεται μέ τή θερμοκρασία, πού είναι πάντως αρκετά ύψηλή ώστε νά μήν επιτρέπει αντιδράσεις ανάμεσα στό ηλεκτρόνια και τά πρωτόνια.

Έτσι φτάνουμε στή σημερινή, αστρική περίοδο (stellar), ή ύλική, ή εποχή τών συμπυκνώσεων. Γύρω στό 3×10^5 έτη, ή «ύλη» κυριαρχεί πάνω στην ακτινοβολία. (Τό τέλος τής περιόδου τής ακτινοβολίας χαρακτηρίζεται από τή γένεση ατόμων). Τώρα δημιουργούνται πυρήνες και άτομα. Μετά από μερικά έκατομμύρια χρόνια αρχίζουν οί συμπυκνώσεις πού οδηγούν στην πορεία του χρόνου στους πρώτους γαλαξίες «πού φωτίζονται από τήν πρώτη γενεά τών αστέρων». (R. Omnes) στό σμήνη γαλαξιών και στους αστρικούς σχηματισμούς πού βλέπουμε σήμερα. Κατά μιά άποψη, τά πρώτα άστρα σχηματίσθηκαν κατά τή βαρυτική συστολή του νέφους απ' όπου προήλθε και ο γαλαξίας μας.

Αυτή είναι σχηματικά ή ιστορία του Big - Bang, πού για τίς φάσεις της και τό περιεχόμενο τών φάσεων δέν είναι πάντα σύμφωνοι οί ειδικοί. Αλλά ή ιστορία έχει άλλη μιά όψη, πού αποτελεί ισχυρό επιχείρημα υπέρ τής διαστολής: πρόκειται για τήν περίφημη ακτινοβολία μελανού σώματος τών 3 βαθμών.

Σύμφωνα μέ τήν υπόθεση τής διαστολής, πρός τό τέλος τής περιόδου τής ακτινοβολίας, δηλαδή ανάμεσα στό 600.000 και 2.000.000 χρόνια από

τήν «ἀρχή» τοῦ χρόνου, ἡ θερμοκρασία ἔπεσε βαθμιαία ἀπό 5000 σέ 2000 βαθμούς καί ἡ πυκνότητα τῆς ὕλης στά 10^{-22} gr/cm³ περίπου. Γύρω στά 10^6 χρόνια, τά φωτόνια παύουν νά ἀλληλεπιδροῦν μέ τήν ὕλη, ἀλλά δέν εξαφανίζονται. Συνεχίζουν νά ταξιδεύουν στό χῶρο. Ἄν συλλάβουμε σήμερα ἓνα τέτοιο φωτόνιο, θά ἔχει ἤδη 10 δισεκ. χρόνια ζωή καί θά παρουσιάζει μιά τεράστια μετατόπιση πρὸς τό ἔρυθρό. Τά φωτόνια πού ἔχουν αὐτή τήν προέλευση θά φαίνονται συνεπῶς σά φωτόνια ψυχρῆς ἀκτινοβολίας. Πρόκειται γιά τήν ἀκτινοβολία μελανοῦ σώματος τῶν 3⁰ K πού πρόβλεψε τό 1948 ὁ Gamow καί πού ἀνακάλυψαν οἱ Pentzias καί Wilson τό 1965. Ἡ ὑπαρξη αὐτῆς τῆς ἀκτινοβολίας ἀποτελεῖ - κατά τή δεσπύζουσα ἄποψη - ἰσχυρό ἐπιχείρημα ὑπέρ τοῦ προτύπου τῆς ἀρχικῆς ἔκρηξης.

Ἡ παρατηρούμενη ψυχρή ἀκτινοβολία τῶν 3⁰ K θεωρεῖται συνεπῶς κατάλοιπο τῆς περιόδου πού τό σύμπαν ἦταν ἐξαιρετικά πυκνό, καί περιεῖχε μιά ἀκτινοβολία σέ θερμική ἰσορροπία καί σέ πολύ ὕψηλὴ θερμοκρασία. Ὅπως εἶπαμε, ὁ Gamow εἶχε προβλέψει ἀπό τό 1948 τήν ὑπαρξη ἑνός πεδίου θερμικῆς ἀκτινοβολίας ἀρκετά ἔντονου, κατάλοιπου τῆς προηγούμενης ἱστορίας τοῦ σύμπαντος. Τό 1965 οἱ Pentzias καί Wilson ἀνεκάλυψαν ὅτι ἀπό τά βάθη τοῦ οὐρανοῦ ἐκπέμπεται μιά ἀκτινοβολία μέ φασματική κατανομή μέλανος σώματος 3⁰ K. Γιά τήν ἀκρίβεια, τό πεδίο ἀκτινοβολίας τοῦ βάθους τοῦ οὐρανοῦ εἶναι τό πεδίο ἀκτινοβολίας μέλανος σώματος 2,7⁰ K, καί ἀνήκει στήν περιοχή τῶν ραδιοφωνικῶν κυμάτων χαμηλῆς συχνότητας.

Ἡ ἀκτινοβολία τῶν 3⁰K φαίνεται ὅτι κατανέμεται στό σύμπαν μέ τρόπο ὁμογενῆ καί ἰσότροπο. Ἡ κατανομή αὐτή συνεπάγεται, κατά τή γενικά ἀποδεκτὴ ἄποψη, ὅτι τό σύμπαν διαστελλεται ἰσότροπα ἀπό τοὺς πῶς μακρυνούς καιρούς, καί ἡ ἀκτινοβολία αὐτή ἐπιτρέπει τήν ἀνασύσταση τῆς ἱστορίας τοῦ σύμπαντος ὡς τίς πρῶτες στιγμές του. Ὁ ὕψηλός βαθμός ἰσοτροπίας συνεπάγεται, κατά τήν ἄποψη πού ἐκθέτουμε, ὅτι ἡ ἀκτινοβολία αὐτή δέν προέρχεται ἀπό τό γαλαξία μας ἢ ἀπό τόν κοντινὸ μεταγαλαξία, ἀλλά ὅτι ἔχει πράγματι κοσμολογική προέλευση, ὅτι δηλαδή ἀποτελεῖ κατάλοιπο τῆς μακρυνῆς ἱστορίας τοῦ σύμπαντος.⁹

9. Σχετικά μέ τό πρότυπο τῆς διαστολῆς, βλ. 1) H. Bondi, *Cosmology*, Cambridge Un. Press, 1968 2) G. Gamow, *The Creation of the universe*, The Viking press, 1961. 3) J. Heidmann, *Introduction a' la cosmologie*, Coll. SUP, R.U.F, Paris, 1973. 4) F. Hoyle, *Galaxies, Noyaux et Quarars*, Buchet - Chastel, Paris 1966. 5) Mercier, Tredder, Yourgrau, *On general Relativity*, Akademie Verlag, Berlin, 1979. 6) R. Omnes *L' Universe et ses Métamorphoses*, Hermann, 1973. 7) A. Papapetrou, *Lectures on General Relativity*, Reidel, 1974. 8) Συλλογή: *La Recherche en Astrophysique*, Seuil, 1977. 9) Συλλογή: *Problèmes de Cosmogonie Contemporaine*, Mir, 1971 (ὑπὸ τῆ διεύθυνση τοῦ Y. Ambartsoumian).