

ΕΚΤΑΚΤΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 20<sup>ΗΣ</sup> ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1999

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΜΗΤΣΟΠΟΥΛΟΥ

## Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΣΤΡΟΦΥΣΙΚΗΣ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΤΙΚΟΥ Κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΥ

[ΚΕΝΤΡΟΝ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑΣ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ]

### 1. Είσαγωγή

Ἡ πιὸ ἐντυπωσιακὴ ἐξέλιξη στὴν Ἀστροφυσικὴ τῶν τελευταίων δεκαετιῶν ὑπῆρξε ἡ στενὴ τῆς σύνδεση μὲ τὴ Φυσικὴ τῶν Ὑψηλῶν Ἐνεργειῶν. Ὁ κοινὸς σκοπὸς καὶ στόχος τοὺς εἶναι ἡ κατανόηση τῆς Ἀρχῆς τοῦ Σύμπαντος. Ἀπὸ τὸ ἓνα μέρος οἱ παρατηρήσεις μὲ τὰ μεγαλύτερα τηλεσκόπια τοῦ κόσμου καὶ ἡ ἀνάπτυξη τῶν πλέον συγχρόνων κοσμολογικῶν θεωριῶν μᾶς ὁδηγοῦν στὰ πρῶτα στάδια τῆς ἐξελίξεως τοῦ Σύμπαντος, ἀμέσως μετὰ τὴν «Ἀρχικὴ Ἐκρηξή» (τὸ Big Bang). Ἀπὸ τὸ ἄλλο μέρος τὰ πειράματα μὲ τοὺς μεγάλους ἐπιταχυντὲς καὶ οἱ θεωρίες γιὰ τὴν ἐνοποίηση τῶν φυσικῶν δυνάμεων μᾶς δίνουν στοιχεῖα γιὰ τὴν ἀρχικὴ κατάσταση τοῦ Σύμπαντος. Ἔτσι φθάνουμε στὰ πρῶτα κλάσματα τοῦ πρώτου δευτερολέπτου τοῦ Σύμπαντος καὶ σὲ μιὰ εἰκόνα ποὺ προσπαθεῖ νὰ περιλάβει τὸ πᾶν στὸ Σύμπαν. Εἶναι ἡ ἀκόμῃ ἀδιαμόρφωτη Θεωρία τοῦ Παντός (Theory of Everything), ποὺ ἀποτελεῖ τὸ ὄνειρο τῶν πιὸ σημαντικῶν θεωρητικῶν φυσικῶν τῆς ἐποχῆς μας.

Πράγματι σήμερα ὅσα ἔγιναν μετὰ τὴν ἠλεκτροασθενῆ ἐνοποίηση, δηλαδὴ τὴν ἐνοποίηση τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν μὲ τὶς ἀσθενεῖς πυρηνικὲς δυνάμεις (Weinberg, Salam καὶ Glashow, βραβεῖο Nobel 1979) ποὺ ὑπολογίζεται ὅτι ἔγινε ὅταν ἡ ἡλικία τοῦ Σύμπαντος ἦταν  $10^{-12}$  sec (ἓνα ἑκατομμυριοστὸ τοῦ ἐνὸς ἑκατομμυριοστοῦ τοῦ δευτερολέπτου), θεωροῦνται σὲ μεγάλο βαθμὸ γνωστά.

Ἐκεῖνα ποὺ ἀποτελοῦν ἀκόμῃ ἀντικείμενο ἐντατικῆς ἐρευνας, εἶναι ὅσα ἔγιναν στὴν μεγάλη ἐνοποίηση, δηλαδὴ σὲ χρόνον  $10^{-35}$  sec, καὶ ἀκόμῃ πιὸ πρὶν, στὸ

χρόνο Planck,  $10^{-43}$  sec, όταν η βαρύτης ήταν ένοποιημένη με τις άλλες δυνάμεις της Φυσικής.

Σήμερα θα μιλήσω για τις κυριότερες σύγχρονες κοσμολογικές θεωρίες, αλλά και για τις πρόσφατες αστροφυσικές παρατηρήσεις που δίνουν βασικά στοιχεία για την κατανόηση του αρχικού Σύμπαντος.

Οι βασικές θεωρίες πάνω στις οποίες στηρίζονται οι σύγχρονες κοσμολογικές εξελίξεις είναι η Κβαντική Θεωρία και η Γενική Σχετικότητα. Έως τώρα η κβαντική θεωρία έθεωρεϊτο η πιο ακριβής θεωρία της φυσικής. Οι προβλέψεις της Κβαντικής Ήλεκτροδυναμικής έχουν επαληθευθεί με την καταπληκτική ακρίβεια  $1 : 10^{11}$ .

Όμως η ανακάλυψη του διπλού pulsar (διπλού άστéρος νετρονίων) από τους Taylor και Hulse όδηγησε σε μια επαλήθευση της θεωρίας της Σχετικότητας με ακρίβεια  $1 : 10^{24}$ . Οι Taylor και Hulse ήσαν οι πρώτοι που πήραν βραβείο Nobel (1993) για μια εφαρμογή της θεωρίας της Σχετικότητας. (Είναι χαρακτηριστικό ότι ο Einstein πήρε το βραβείο Nobel όχι για τη θεωρία της Σχετικότητας, αλλά για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Σήμερα λοιπόν η Γενική Σχετικότητας είναι η πιο ακριβής θεωρία της σύγχρονης Φυσικής.

Έτσι είμαστε αναγκασμένοι να θεωρήσουμε σοβαρά τις πιο σημαντικές συνέπειες της θεωρίας αυτής όπως είναι:

- α) Οι μελανές όπες.
- β) Τα κύματα βαρύτητας και
- γ) Η διαστολή του Σύμπαντος.

Διαθέτουμε σήμερα πολλές παρατηρήσεις που δείχνουν ότι υπάρχουν μελανές όπες στο Σύμπαν. Οι μελανές όπες που παρατηρούμε, ή προσπαθοῦμε να παρατηρήσουμε, είναι 3 ειδών.

1) Μελανές όπες από κατάρρευση άστéρων με μάζα μεγαλύτερη από 3 μάζες ήλίου.

2) Μελανές όπες στα κέντρα των Γαλαξιών που έχουν μάζες της τάξεως των  $10^8$  μαζών ήλίου, και

3) Μικρές άρχέγονες μελανές όπες μικροσκοπικές σε μέγεθος, που σύμφωνα με τη θεωρία του Hawking, υφίστανται μια τεράστια έκρηξη κατά το τέλος της ζωής τους και χάνονται. Αυτές οι μελανές όπες, έχουν μάζα μερικῶν εκατομμυρίων τόννων, δηλαδή όσο ένα μέτριο βουνό της γῆς. Τέτοιες όμως μελανές όπες δὲν έχουν ακόμη παρατηρηθεί.

Η δεύτερη συνέπεια της Γενικής Σχετικότητας είναι η ακτινοβολία βαρύτητας. Θεωρεϊται βέβαιο ότι βαρυτικές επιδράσεις δὲν μεταδίδονται με άπειρη ταχύ-

τητα, αλλά με την ταχύτητα του φωτός. Κατά συνέπεια κάθε μεταβολή ενός βαρυτικού πεδίου μεταδίδεται σαν κύμα βαρύτητας, με την ταχύτητα του φωτός.

Σήμερα γίνονται πολλές προσπάθειες για την ανίχνευση των κυμάτων βαρύτητας που έρχονται από το Σύμπαν.

Δύο είναι οι πιο σημαντικές κατασκευές ανιχνευτών που προχωρούν με έντατικό ρυθμό. Η μία είναι ο LIGO (Laser Interferometer Gravitational wave Observatory) που περιλαμβάνει δύο ανιχνευτές διαστάσεων 4 χιλιομέτρων. Ο ένας είναι κοντά στο Seattle και ο άλλος στη Louisiana των Ηνωμένων Πολιτειών. Η άλλη κατασκευή ονομάζεται VIRGO (από το Σμήνος Γαλαξιών της Παρθένου). Κατασκευάζεται κοντά στην Pisa από Ιταλούς και Γάλλους επιστήμονες και έχει διαστάσεις 3 χιλιομέτρων. Υπολογίζεται ότι οι πρώτες μετρήσεις και των 2 προγραμμάτων θα αρχίσουν το έτος 2001.

Αν οι ανιχνευτές αυτοί κυμάτων βαρύτητας επιτύχουν, όπως ελπίζεται, θα μας δώσουν στοιχεία για τις καταρρεύσεις των supernovae, αλλά και των quasars στα κέντρα των γαλαξιών. Και ίσως εις το μέλλον μας δώσουν στοιχεία για τα πρώτα στάδια του Σύμπαντος κοντά στο χρόνο Planck, από όπου καμμία άλλη ακτινοβολία, φωτεινή ή σωματιακή, δεν φθάνει σε μας.

## 2. Η Διαστολή του Σύμπαντος

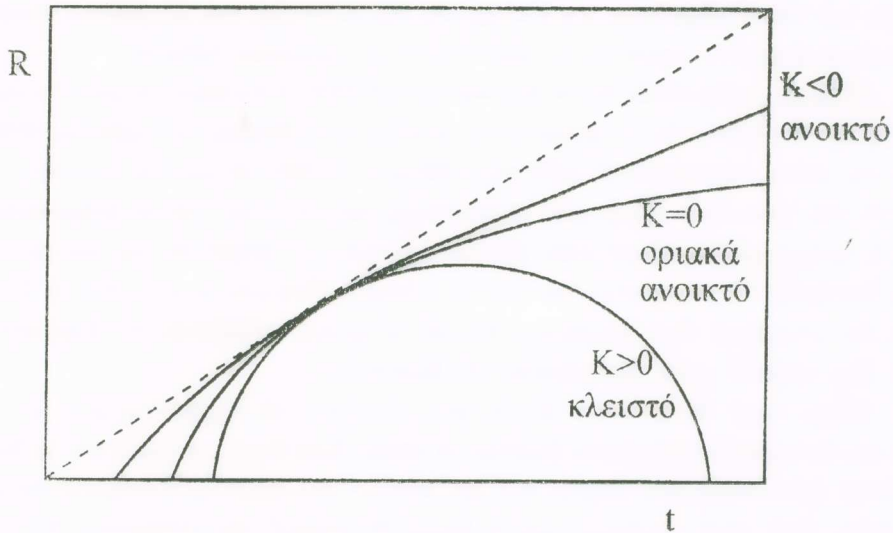
Η τρίτη σημαντική συνέπεια της Γενικής Σχετικότητας είναι η διαστολή του Σύμπαντος. Λίγο καιρό μετά τη διατύπωση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας το 1916 από τον Einstein ένας όλλανδός αστρονόμος, ο de Sitter, έδωσε το 1917 την πρώτη λύση των εξισώσεων του Einstein για το Σύμπαν, που παριστάνει ένα διαστελλόμενο Σύμπαν. Η λύση του de Sitter αναφέρεται σε ένα κενό Σύμπαν και η διαστολή οφείλεται σε μια άπωστική δύναμη που χαρακτηρίζεται από μία κοσμολογική σταθερά.

Ο Einstein από το άλλο μέρος πίστευε αρχικά ότι το Σύμπαν είναι στατικό. Επειδή όπως το Σύμπαν έχει μάζες που έλκουν ή μία την άλλη, χρειάζεται μια άπωση για να εξισορροπήσει την έλξη της βαρύτητας, και αυτή προέρχεται από την κοσμολογική σταθερά.

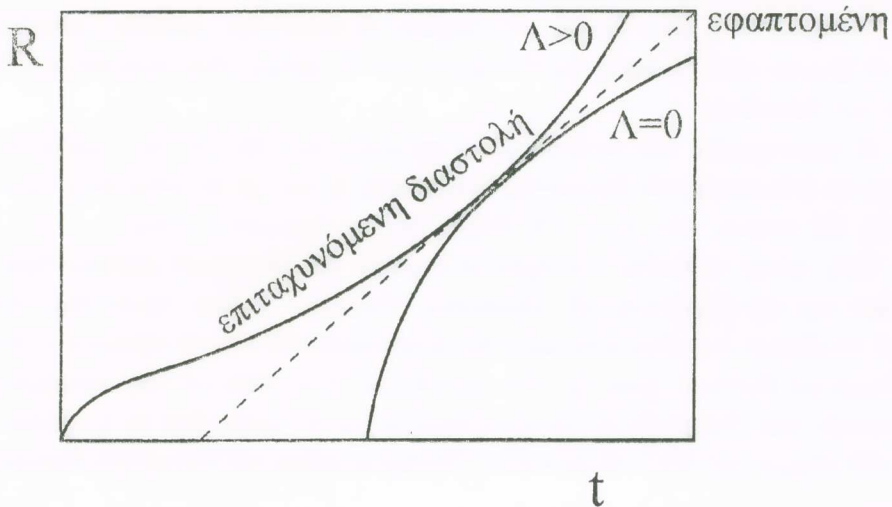
Όταν αργότερα διαπιστώθηκε ότι το Σύμπαν είναι διαστελλόμενο, η ανάγκη της κοσμολογικής σταθεράς δεν ήταν προφανής. Άρκοῦσε μία αρχική έκρηξη (το Big Bang) για να έχουμε τη διαστολή του Σύμπαντος, ή οποία διαστολή γίνεται με συνεχώς επιβραδυνόμενο ρυθμό λόγω της έλξεως των μαζών (σχ. 1).

Έτσι ο Einstein είπε ότι η κοσμολογική σταθερά  $\Lambda > 0$ , που έκανε λίγο πιο πολύπλοκες τις εξισώσεις του, ήταν το μεγαλύτερο λάθος της ζωής του.

Είναι όμως ειρωνεία της τύχης ότι σήμερα η κοσμολογική σταθερά επανέρχεται μετά από πρόσφατες παρατηρήσεις του Perlmutter και άλλων (1997-98) που δίνουν ενδείξεις ότι η διαστολή του Σύμπαντος επιταχύνεται (σχ. 2) αντί να επιβραδύνεται.



Σχ. 1 Μοντέλα Friedmann του διαστελλομένου Σύμπαντος.



Σχ. 2. Μοντέλο Lemaitre διαστελλομένου Σύμπαντος, όταν η ταχύτης διαστολής επιταχύνεται.



Μερικοί παρουσίασαν τις ανακαλύψεις αυτές σαν μια απόδειξη της υπάρξεως μιᾶς νέας δυνάμεως, τῆς 5ης δυνάμεως, στο Σύμπαν. "Όμως ἡ δύναμη αὐτή δὲν εἶναι κάτι τὸ καινούργιο. Ἡ κοσμολογικὴ σταθερὰ εἶναι μία παράμετρος τῆς Γενικῆς Θεωρίας τῆς Σχετικότητος ποὺ εἶναι γνωστὴ ἀπὸ τὸ 1917.

Πρέπει ἀκόμη νὰ προσθέσω ὅτι οἱ παρατηρήσεις ποὺ ἔγιναν τοὺς τελευταίους μῆνες καὶ ποὺ ὑποδηλώνουν μία ἐπιτάχυνση τῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος ἀναφέρονται σὲ ἐλάχιστες περιπτώσεις supernovae σὲ μακρινοὺς γαλαξίες.

Εἶναι χαρακτηριστικὸ ὅτι σὲ δημοσίευση τοῦ 1997, ὁ Perlmutter καὶ οἱ συνεργάτες του δὲν βρῆκαν ὅτι ἡ κοσμολογικὴ σταθερὰ εἶναι διάφορη τοῦ μηδενός. Ἀλλὰ μία ἐπὶ πλεόν supernova τὸ 1997 τοὺς ὁδήγησε (1998) σὲ μία νέα ἐκτίμηση, με  $\Lambda > 0$ . Θὰ χρειασθοῦν ὅμως πολὺ περισσότερες παρατηρήσεις γιὰ νὰ βεβαιωθοῦμε ὅτι ἡ κοσμολογικὴ σταθερὰ εἶναι πράγματι θετικὴ καὶ ὁδηγεῖ σὲ μία ἐπιτάχυνση τῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος. Ἄν πάντως ἡ θεωρία αὐτὴ εἶναι σωστὴ, τότε τὸ Σύμπαν δὲν μπορεῖ νὰ εἶναι παλλόμενο, δηλαδὴ νὰ ἔχουμε κατάρρευση τοῦ Σύμπαντος στὸ Big Crunch μετὰ ἓνα μέγιστο τῆς διαστολῆς.

Μέχρι τώρα ἐθεωρούσαμε δύο δυνατὲς ἐξελίξεις τοῦ Σύμπαντος (σχ. 1). Ἡ ἓνα συνεχῶς διαστελλόμενο Σύμπαν, τὸ ὁποῖο εἶναι ἄπειρο σὲ μάζα καὶ σὲ διαστάσεις, ἡ ἓνα παλλόμενο Σύμπαν ποὺ ἔχει πεπερασμένη μάζα καὶ διαστάσεις (πεπερασμένο, ἀλλὰ «ἄνευ περάτων») καὶ τὸ ὁποῖον θὰ ὑποστεῖ τὴν κατάρρευση τοῦ Big Crunch.

Αὐτὰ τὰ μοντέλα εἶναι τὰ λεγόμενα μοντέλα τοῦ Friedmann, ποὺ ἰσχύουν ὅταν ἡ κοσμολογικὴ σταθερὰ εἶναι μηδέν.

Ἄν ὅμως τὸ  $\Lambda$  εἶναι θετικόν, τότε ἰσχύουν τὰ γενικότερα μοντέλα Lemaitre καὶ τὸ Σύμπαν εἶναι συνεχῶς διαστελλόμενο καὶ ἂν ἀκόμη εἶναι πεπερασμένο σὲ μάζα καὶ διαστάσεις.

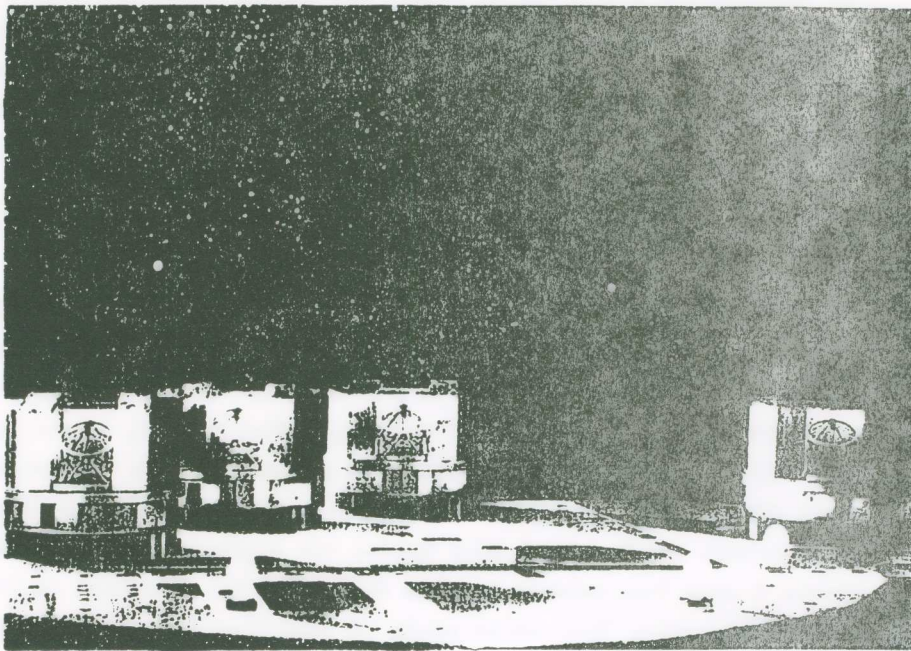
Οἱ παρατηρήσεις τῶν πολὺ μακρινῶν γαλαξιῶν ποὺ ἔδωσαν τὶς πρῶτες ἐνδείξεις ὅτι ἡ διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος ἐπιταχύνεται ἔγιναν μὲ τὸ μεγαλύτερο τηλεσκόπιο τοῦ κόσμου, τῶν 10m, στὴ Χαβάη (δίδυμο τηλεσκόπιο Keck).

Ἐδῶ πρέπει νὰ τονίσω τὴν τεράστια σημασία τῶν συγχρόνων μεγάλων τηλεσκοπίων γιὰ τὴν ἐξερεύνηση τοῦ Σύμπαντος. Ὑπάρχουν σήμερα τηλεσκόπια τῶν 8 καὶ 10 μέτρων ποὺ εἶναι ἀσύγκριτα πιὸ ἀποτελεσματικὰ ἀπὸ τὸ τηλεσκόπιο τῶν 5 μέτρων τοῦ Palomar, χάρις ὅχι μόνον στὸ μέγεθός τους, ἀλλὰ καὶ στὴν προηγμένη τεχνολογία τους. Τελευταῖα ἄρχισε τὴ λειτουργία του τὸ πρῶτο ἀπὸ τὰ 4 τηλεσκόπια 8.2 μέτρων τοῦ ESO (Εὐρωπαϊκοῦ Ἀστεροσκοπεῖο τοῦ Νότου) στὸ Paranal

τῆς Χιλῆς (σχ. 3). Ὄταν τελειώσει τὸ συγκρότημα αὐτὸ θὰ ἔχει τὴ μεγαλύτερη συλλεκτικὴ δύναμη φωτὸς σὲ ὅλο τὸν κόσμο.

Ἄς σημειωθεῖ ὅτι τὸ συνολικὸ ἐμβαδὸν ὅλων τῶν τηλεσκοπίων τοῦ κόσμου εἶναι σήμερα πάνω ἀπὸ  $1000\text{m}^2$  καὶ τὰ 80 % ἀπὸ αὐτὰ ἔγιναν τὰ τελευταῖα 10 ἔτη.

Ἐπίσης ἔχουμε τὸ τηλεσκόπιο Hubble στὸ διάστημα, διαμέτρου 2.4 μέτρων, ποὺ ἔδωσε καταπληκτικὰ ἀποτελέσματα μετὰ τὴν ἐπιδιόρθωση ἐνὸς ἀρχικοῦ του μειονεκτήματος. Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ φθάνουμε νὰ παρατηροῦμε γαλαξίες σὲ ἀποστάσεις περίπου 10 δισεκατομμυρίων ἐτῶν φωτός, καὶ ἔτσι βλέπουμε τὸ Σύμπαν πῶς ἦταν πρὶν ἀπὸ 10 δισεκατομμύρια ἔτη, κατὰ τα πρῶτα στάδια μετὰ τὴ δημιουργία τῶν γαλαξιών.



Σχ. 3. Τὰ 4 τηλεσκόπια 8.2 μέτρων στὸ Paranal τῆς Χιλῆς (European Southern Observatory).

Ἐνα ἀπὸ τὰ πιὸ σημαντικὰ θέματα ποὺ ἐρευνοῦμε μὲ τὰ μεγάλα αὐτὰ τηλεσκόπια εἶναι τὸ πρόβλημα τῆς σκοτεινῆς ὕλης τοῦ Σύμπαντος.

Εἶναι γνωστὸ σήμερα ὅτι οἱ γαλαξίες ἐκτείνονται σὲ πολὺ μεγαλύτερες ἀποστάσεις ἀπὸ αὐτὲς ποὺ παρατηροῦμε μὲ τὰ συνήθη τηλεσκόπια.



Ύπολογίζουμε ότι ο δικός μας γαλαξίας έχει μάζα 1 τρισεκατομμύριο φορές τη μάζα του ήλιου, και όχι 100 δισεκατομμύρια όπως υπολογίζαμε παλαιότερα. Χονδρικά μπορούμε να πούμε ότι η όλικη μάζα των γαλαξιών είναι 10 φορές μεγαλύτερα από αυτή που υπολογίζαμε πριν από μερικές δεκαετίες.

Όμως είναι πιθανό ότι το Σύμπαν περιέχει πολύ περισσότερη ύλη ακόμη.

Υπάρχει μία κρίσιμη πυκνότης του Σύμπαντος, που απαιτείται για να σταματήσει ή διαστολή του Σύμπαντος οριακά στο άπειρο. Αν η πυκνότης του Σύμπαντος είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη, τότε η διαστολή του κάποτε θα σταματήσει και θ' αρχίσει η συστολή. Αν η πυκνότης είναι μικρότερη από την κρίσιμη τότε η διαστολή θα συνεχίζεται επ' άπειρον.

Η πυκνότης του Σύμπαντος με μονάδα την κρίσιμη πυκνότητα παρίσταται με το γράμμα  $\Omega$ . Η πυκνότης που προκύπτει από την παρατηρούμενη λαμπρότητα των γαλαξιών είναι  $\Omega=0.02$ . Αν υπολογίσουμε όμως και την επί πλέον σκοτεινή ύλη των γαλαξιών και των σμηνών γαλαξιών, φθάνουμε σε μια πυκνότητα  $\Omega=0.2$  δηλαδή 20 % της κρίσιμης.

Πολλοί πιστεύουν ότι η πραγματική πυκνότης του Σύμπαντος είναι ίση με την κρίσιμη, δηλαδή  $\Omega=1$ . Αλλά, τότε που είναι τα 80 % της ύλης του Σύμπαντος;

Το πρόβλημα της σκοτεινής ύλης του Σύμπαντος απασχόλησε επί δεκαετίες τους αστρονόμους. Μέχρι της στιγμής αυτής καμμία γνωστή μορφή ύλης δεν μπορεί να εξηγήσει την «μάζα που λείπει» για να φθάσουμε στην κρίσιμη πυκνότητα. Η μάζα αυτή δεν μπορεί να είναι αστέρες ή πλανήτες, ή αέριο, ή σκόνη, ή έστω μελανές όπες. Μερικοί στήριζαν μεγάλες ελπίδες στην μη μηδενική μάζα των νετρίνων. Πράγματι πριν από μερικούς μήνες το πείραμα Super Kamionkade στην Ίαπωνία έδωσε σοβαρές ενδείξεις ότι η μάζα ήρεμίας των νετρίνων είναι μη μηδενική. Έν τούτοις η μάζα τους φαίνεται ότι είναι πολύ μικρή για να καλύψει τα 80 % της ύλης του Σύμπαντος. Έτσι πολλοί μιλούν για άλλα έξωτικά σώματα, όπως τα φωτίνα ή τα άξιόνια, που πιθανόν να γεμίζουν το Σύμπαν. Το κακό με αυτά τα σώματα είναι ότι δεν έχουν ακόμη ανακαλυφθεί και δεν ξέρουμε αν υπάρχουν.

Μια πιθανή διέξοδος στο πρόβλημα στηρίζεται στην μη μηδενική τιμή της κοσμολογικής σταθεράς, που αντιπροσωπεύει μια άπωστική δύναμη στο Σύμπαν. Η άπωση αυτή αντισταθμίζει εν μέρει την έλξη της ύλης και για να φθάσουμε την παραβολική ταχύτητα δεν απαιτείται πλέον να έχουμε  $\Omega_{\text{ύλης}} = 1$ , αλλά

$$\Omega_{\text{ύλης}} = 1 - \Omega_{\Lambda} \quad (1)$$

όπου το  $\Omega_{\Lambda}$  οφείλεται στην κοσμολογική σταθερά.

Είναι πολύ ένωρίς για να ποῦμε ἂν ἡ λύση αὐτὴ εἶναι ικανοποιητικὴ ποσο-  
τικά.

Μία ἄλλη κατηγορία θεωριῶν ἀντιμετωπίζει τὸ πρόβλημα τῆς σκοτεινῆς ὕλης με τροποποίηση τοῦ νόμου τοῦ Νεύτωνος. Ἡ πιὸ σημαντικὴ θεωρία τοῦ τύπου αὐτοῦ ὀφείλεται στὸν Ἑλληνα Δ. Καζάνα, ἀπὸ τὴν NASA. Ἡ θεωρία αὐτὴ δὲν ἀλλάζει ἀuthαίρετα τὸ νόμο τοῦ Νεύτωνος, ἀλλὰ ξεκινᾷ ἀπὸ μιὰ τροποποίηση τῆς θεωρίας τῆς Σχετικότητος τοῦ Einstein. Εἶναι γνωστὸ ὅτι οἱ ἐξισώσεις πεδίου τοῦ Einstein ἀναφέρονται στὸν τανυστὴ Ricci, ποὺ συνδέεται με τὸν τανυστὴ ἐνέρ-  
γειας-ὀρμῆς. Ὅμως ἡ καμπυλότης τοῦ χωροχρόνου χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὸν τανυ-  
στὴ Riemann Rijkl καὶ εἶναι γνωστὸ ὅτι

$$Rijkl = R_{ij} + Wijkl \quad (2)$$

ὅπου ὁ  $R_{ij}$  εἶναι ὁ τανυστὴς Ricci ποὺ ἀποτελεῖ τὸ συμμετρικὸ μέρος τοῦ τανυστοῦ Riemann, ἐνῶ ὁ  $Wijkl$  εἶναι τὸ ἀντισυμμετρικὸ μέρος τοῦ τανυστοῦ Riemann καὶ ὀνομάζεται τανυστὴς τοῦ Weyl.

Ὁ Καζάνας χρησιμοποιεῖ τὸν τανυστὴ Weyl καὶ βρίσκει ὅτι μιὰ σημειακὴ μάζα προκαλεῖ μιὰ πολὺ μεγαλύτερη ἔλξη σὲ μεγάλες ἀποστάσεις ἀπὸ ὅ,τι μιὰ κλα-  
σικὴ μάζα. Ἐπομένως δὲν εἶναι ἀναγκαῖα ἐπὶ πλέον σκοτεινὴ ὕλη γιὰ νὰ ἐξηγήσει τὴ δυναμικὴ τῶν γαλαξιδῶν καὶ τὴ διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος.

Αὐτὰ ποὺ εἴπαμε δείχνουν ὅτι τὸ πρόβλημα τῆς σκοτεινῆς ὕλης παραμένει ἀκόμη ἄλυτο.

Μιὰ ἄλλη ἀνακάλυψη, ποὺ θεωρεῖται ἡ μεγαλύτερη πρόοδος στὴν κοσμολογία τῶν τελευταίων ἐτῶν, εἶναι οἱ παρατηρήσεις τῆς ἀνισοτροπίας τῆς ἀκτινοβολίας μικρο-  
κυμάτων με τὸ δορυφόρο COBE (Cosmic Background Explorer). Ὁ COBE βρῆκε γιὰ πρώτη φορὰ μικρὲς ἀνωμαλίες στὴν ἀκτινοβολία μικροκυμάτων ποὺ εἶναι τῆς τάξεως λίγων ἑκατομμυριοστῶν :

$$\frac{\delta\theta}{\theta} = 6 \times 10^{-6} \quad (3)$$

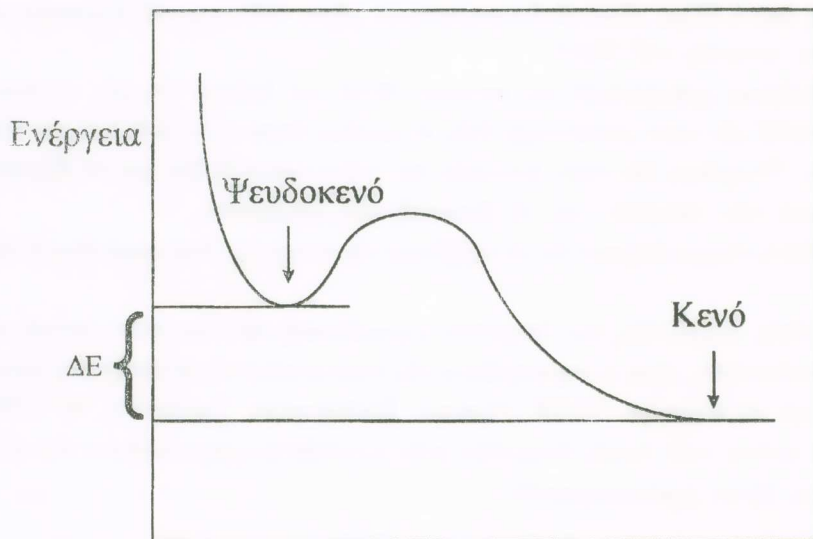
Ἡ ἀκτινοβολία μικροκυμάτων εἶναι τὰ ὑπολείμματα τῆς ἀρχικῆς καταστά-  
σεως τοῦ Σύμπαντος, ἀπὸ τὴν ἐποχὴ τῆς ἀκτινοβολίας, ὅταν ἡ ἀκτινοβολία  $E_a$  εἶχε ἐνέργεια περισσότερὴ ἀπὸ τὴν ἐνέργεια τῆς μάζας  $E_m = mc^2$ . Μετὰ τὴ διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος ἡ ἀκτινοβολία αὐτὴ ἀραιώσε καὶ συγχρόνως ἡ συχνότης της ἐλαττώθηκε σημαντικά, ἔτσι ὥστε σήμερα τὸ μέγιστο τῆς ἀκτινοβολίας νὰ εἶναι σὲ λίγα ἑκατο-  
στὰ τοῦ μέτρου πράγμα ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ μιὰ θερμοκρασία περίπου 3°K. Ἡ ἀνα-  
κάλυψη τῆς ἀκτινοβολίας αὐτῆς τὸ 1964 ἀπὸ τοὺς Penzias καὶ Wilson τοὺς ἔδωσε τὸ βραβεῖο Nobel καὶ ἀπετέλεσε ἓνα τεράστιο βῆμα στὴν κοσμολογία.



Σήμερα οί πρώτες παρατηρήσεις τῶν ἀνωμαλιῶν τῆς ἀκτινοβολίας αὐτῆς μᾶς δίνουν τίς μεγαλύτερες δομές τοῦ Σύμπαντος τῆς τάξεως τοῦ 1 δισεκατομμυρίου ἐτῶν φωτός. Μᾶς δίνουν ἀκόμη πληροφορίες γιά τή δημιουργία τῶν γαλαξιῶν, τῶν σμηνῶν καί ὑπερσμηνῶν γαλαξιῶν, καί τῶν κενῶν πού ὑπάρχουν ἀνάμεσα στά ὑπερσμήνη.

Πρὶν φύγουμε ἀπὸ τὸ θέμα τῆς διαστολῆς τοῦ Σύμπαντος θὰ ἤθελα ν' ἀναφερθῶ σὲ μία σημαντικὴ θεωρία πού ἀναφέρεται στά πρώτα στάδια τῆς διαστολῆς.

Πρόκειται γιά τή θεωρία τοῦ Πληθωρισμοῦ. Συνήθως ἡ θεωρία αὐτή, ἀποδίδεται στὸν A. Guth ἀπὸ τὸ MIT (1981). Ὅμως τὰ κύρια σημεῖα τῆς θεωρίας αὐτῆς διατυπώθηκαν ἓνα χρόνο πρὶν (1980) στὸ *Astrophysical Journal Letters*, ἀπὸ τὸν Δ. Καζάνα. Ὁ Καζάνας χρησιμοποίησε ἰδέες ἀπὸ τὴ Μεγάλῃ Ἑνοποιημένη Θεωρία (Grand Unified Theory, ἢ GUT) γιά νὰ συμπεράνει ὅτι τὸ Σύμπαν



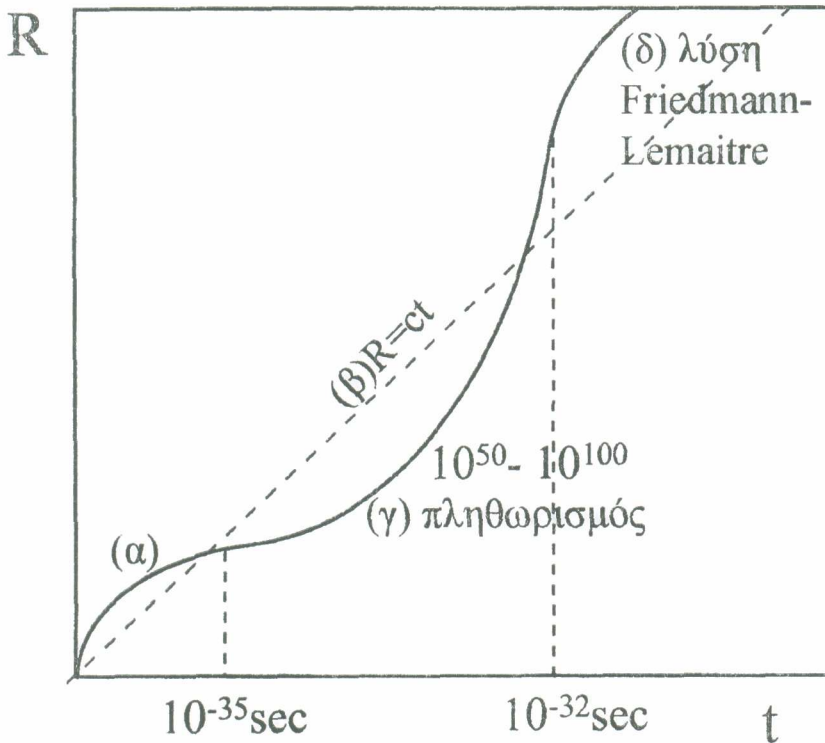
X

Σχ. 4. Ἡ ἐνέργεια τοῦ ψευδοκενοῦ εἶναι κατὰ  $\Delta E$  μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἐνέργεια τοῦ κενοῦ.

πέρασε ἀπὸ μία φάση ἐκθετικῆς διαστολῆς ὅταν ἡ ἡλικία του ἦταν  $10^{-35}$  sec. Ἡ φάση αὐτὴ ὀνομάσθηκε «φάση de Sitter» ἀπὸ τὸν Καζάνα, γιὰτὶ μοιάζει μὲ τὸ μοντέλο διαστολῆς τοῦ de Sitter, καί ἀργότερα ὀνομάσθηκε πληθωρισμὸς (inflation).

Ἡ βασικὴ ἰδέα εἶναι ὅτι τὰ στοιχειώδη σωματῖα βρίσκονται σὲ ἓνα φρέαρ δυναμικοῦ πού βρίσκεται πάνω ἀπὸ τὸ δυναμικὸ τοῦ κενοῦ. Ἡ κατάσταση αὐτὴ ὀνομάζεται ψευδοκενό, ἀλλὰ τὸ ψευδοκενό ἔχει ἐνέργεια μεγαλύτερη ἀπὸ τὸ κενό (σχ. 4).

Καθώς τὸ Σύμπαν διεστέλλετο καὶ ἐψύχετο, σὲ χρόνο  $10^{-35}$  sec, ἔγινε μιὰ ἀλλαγὴ φάσεως, ἀπὸ τὸ ψευδοκενὸ στὸ κενό, καὶ ἐλευθερώθηκε ἓνα τεράστιο ποσὸ ἐνέργειας, ποὺ ὀδήγησε σὲ μιὰ ἐκθετική διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος κατὰ ἓνα παράγοντα τῆς τάξεως τῶν  $10^{50}$ - $10^{100}$  (σχ. 5). Ἔτσι τὸ ὁρατὸ σήμερα Σύμπαν, ποὺ ἔχει ἀκτίνα κάπου 15 δισεκατομμύρια ἔτη φωτός, ξεκίνησε ἀπὸ διαστάσεις μικρότερες ἀπὸ ἓνα πρωτόνιο.



Σχ. 5. Τὰ ἀρχικά στάδια διαστολῆς ἑνὸς μοντέλου Friedmann (α), γίνονται μὲ ταχύτητα μεγαλύτερη τῆς ταχύτητος τοῦ φωτός (β). Στὸ μοντέλο τοῦ πληθωριστικοῦ Σύμπαντος (γ) ἡ διαστολὴ γίνεται μὲ συνεχῶς ἐπιταχυνόμενο ρυθμὸ, μετὰ ὅμως τῇ φάσει τοῦ πληθωρισμοῦ ἡ διαστολὴ ἀκολουθεῖ ἓνα ἀπὸ τὰ μοντέλα Friedmann - Lemaître (δ).

Ἡ ἐξέλιξη αὐτὴ ἔγινε ταχύτατα, ἀπὸ χρόνο  $10^{-35}$  sec ἕως  $10^{-32}$  sec, καὶ ἔκτοτε ἡ διαστολὴ ἀκολουθεῖ τὰ μοντέλα Friedmann - Lemaître. (Ἡ ἐπιτάχυνση τῆς διαστολῆς γιὰ τὴν ὁποία μιλήσαμε πιὸ πάνω εἶναι πολὺ ἀσθενέστερο φαινόμενο ἀπὸ τὸν πληθωρισμό).

Ἡ θεωρία τοῦ πληθωρισμοῦ θεωρεῖται ὅτι λύνει μερικά βασικά προβλήματα τῆς κοσμολογίας ὅπως: (α) τὸ πρόβλημα τῆς αἰτιότητας, (causality problem) καὶ (β) τὸ γιατί ἡ πυκνότης τοῦ Σύμπαντος εἶναι κοντὰ στὴν κρίσιμη πυκνότητα, (ὅποτε τὸ Σύμπαν εἶναι περίπου ἐπίπεδο, δηλαδή ἔχει καμπυλότητα περίπου μηδέν) (flatness problem).

Τὸ πρόβλημα τῆς αἰτιότητας ὀφείλεται στὸ ὅτι τὸ ἀρχικὸ Σύμπαν διεστέλλετο σύμφωνα μὲ τὴν κλασικὴ θεωρία τῶν Friedmann-Lemaitre πολὺ ταχύτερα ἀπὸ τὸ φῶς (σχ. 5). Ἐπομένως τὰ διάφορα τμήματα τοῦ Σύμπαντος ἀπεμακρύνοντο τόσο γρήγορα, ὥστε δὲν ἦταν δυνατόν ν' ἀλληλεπιδράσουν. Ἐπομένως τὸ πρόβλημα τῆς αἰτιότητας ἀναφέρεται στὸ ἐρώτημα: Ἄν τὰ διάφορα μέρη τοῦ Σύμπαντος ἦσαν ἐντελῶς ἀνεξάρτητα, πῶς βλέπουμε σήμερα αὐτὴ τὴν καταπληκτικὴ ἱσοτροπία, ἰδίως στὴν ἀκτινοβολία μικροκυμάτων, ὅπου οἱ διαφορὲς εἶναι μόνον μερικά ἐκατομμυριοστά;

Ἄν ὅμως ὑπῆρξε μία τεράστια φάση πληθωρισμοῦ, τότε ἡ ἀρχικὴ ταχύτητα διαστολῆς ἦταν πολὺ μικρότερη ἀπὸ τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός, ἄρα οἱ διάφορες περιοχὲς ἐπικοινωνοῦσαν μεταξύ τους καὶ μόνο ἀργότερα ἡ ταχύτης διαστολῆς ὑπερέβη τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός.

Τὸ δεύτερο πρόβλημα (flatness problem) ἀντιμετωπίζεται γιατί κάθε διαφορά ἀπὸ ἓνα ἐπίπεδο (flat) χῶρο ἔτεινε νὰ ἐκμηδενισθεῖ μὲ τὴν τεράστια διαστολὴ τοῦ πληθωρισμοῦ.

Τὸ φαινόμενο αὐτὸ μοιάζει μὲ τὸ φούσκωμα ἑνὸς μπαλονιοῦ. Ἀρχικὰ τὸ μπαλόνι εἶναι ζαρωμένο, καθὼς ὅμως φουσκώνει γίνεται ὅλο καὶ πιὸ ὁμοιόμορφο καὶ κάθε μέρος τῆς ἐπιφανείας του τείνει νὰ γίνῃ ἐπίπεδο.

Ἡ κατάσταση αὐτὴ ἀντιστοιχεῖ σὲ ἓνα χῶρο μὲ σταθερὴ πυκνότητα στὸ Σύμπαν καὶ μάλιστα μὲ τὴν ὀριακὴ τιμὴ τῆς πυκνότητος  $\Omega = 1$ .

Δὲν θὰ ἀναπτύξω ἐδῶ τίς λεπτομέρειες τῆς θεωρίας τοῦ πληθωρισμοῦ, οὔτε τὴν ἱστορικὴ του ἐξέλιξη. Θὰ σημειώσω μόνον ὅτι ἡ θεωρία αὕτη εἶναι πολὺ «τῆς μόδας» σήμερα.

Ἐν τούτοις μερικοὶ ἀπὸ τοὺς πιὸ σημαντικοὺς κοσμολόγους, ὅπως ὁ Hawking καὶ ὁ Penrose, δὲν δέχονται τὸν πληθωρισμό. Ἐπισημαίνουν ὅτι, ἂν παρακολουθήσουμε μὲ ἓνα ἡλεκτρονικὸ ὑπολογιστὴ τὴν ἐξέλιξη τοῦ Σύμπαντος πρὸς τὰ πίσω, θὰ φθάσουμε σὲ μιὰ ἀρχικὴ κατάσταση (π.χ. στὸ χρόνο Planck) χωρὶς νὰ περάσουμε ἀπὸ ἓνα στάδιο πληθωρισμοῦ.

Ὁ πληθωρισμὸς ἐμφανίζεται σὲ ὀρισμένα μοντέλα τοῦ Σύμπαντος, ἀλλὰ ὅχι κατ' ἀνάγκην στὰ πιὸ γενικὰ μοντέλα ποὺ μποροῦμε νὰ κατασκευάσουμε.



Τέλος θα σημειώσω ότι τα τελευταία χρόνια γίνεται πολύς λόγος για ένα χαοτικό μοντέλο του Σύμπαντος, το Mixmaster Model, που αποφεύγει το πρόβλημα της αιτιότητας λόγω του χάους που θεωρεί ότι επικρατούσε στο αρχικό Σύμπαν, χάρις στο οποίο υπήρχε μία ανάμειξη του υλικού του όλου Σύμπαντος.

Θα επανέλθω στο θέμα του Χαοτικού Σύμπαντος πιο κάτω. Έδω μόνον σημειώνω ότι, παρ' όλον ότι ο πληθωρισμός είναι τόσο πολύ της μόδας, εν τούτοις δεν έχει επιβεβαιωθεί ακόμη.

### 3. Σύγχρονες Κοσμολογικές Θεωρίες.

Οι κυριότερες σύγχρονες κοσμολογικές θεωρίες είναι:

(α) 'Η θεωρία των υπερχορδών (Superstings) και

(β) 'Η θεωρία της έλλείψεως όριακών συνθηκών (No Boundary Condition) των Hawking και Hartle.

Οι θεωρίες αυτές είναι οι πιο σημαντικές «Θεωρίες του Παντός» (Theories of Everything) που έχουν διατυπωθεί τα τελευταία χρόνια, στην προσπάθεια ένοποιήσεως της βαρύτητας με τις 3 άλλες δυνάμεις της φύσεως, την ηλεκτρομαγνητική, την ασθενή και την ισχυρή πυρηνική δύναμη. Μπορούμε να πούμε ότι οι θεωρίες αυτές είναι οι κυριότερες προσπάθειες που αναφέρονται στην κβάντιση της βαρύτητας.

Θα περιγράψω εδώ συνοπτικά τις θεωρίες αυτές. 'Αλλά θα προσθέσω κατόπιν λίγα λόγια για δύο ακόμη θεωρίες.

(γ) Την μη γραμμική κβαντική θεωρία του Penrose και

(δ) το χαοτικό μοντέλο του Σύμπαντος.

#### A) Θεωρία 'Υπερχορδών

'Η θεωρία των υπερχορδών ξεκίνησε από μία γενίκευση της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας από τους Kaluza και Klein σε χώρους περισσοτέρων διαστάσεων.

'Η καθαυτό θεωρία των υπερχορδών όμως διατυπώθηκε το 1984, από τους M. Green και J. Schwarz και αναφέρεται σε χώρο 10 διαστάσεων, και σε όρισμένες περιπτώσεις εκτείνεται σε 26 διαστάσεις. 'Από αυτές τις διαστάσεις οι 4 αποτελούν τον συνήθη χωρόχρονο, ενώ οι υπόλοιπες είναι συμπαγοποιημένες, δηλαδή έχουν υποστεί μία τεράστια καμπύλωση ώστε οι έκτασή τους να είναι της τάξεως των  $10^{-32}$  cm, δηλαδή της τάξεως του μήκους Planck. (Το μήκος Planck είναι ή απόσταση του όριζοντος στο χρόνο Planck).

Μια εικόνα της συμπαγοποίησης είναι ένα φύλλο χαρτί που έχει πολύ μικρό πάχος. Το χαρτί είναι στην πραγματικότητα τριών διαστάσεων, αλλά από πολλές απόψεις μπορεί να θεωρηθεί διδιάστατο.



Τὸ βασικὸ χαρακτηριστικὸ τῆς θεωρίας αὐτῆς εἶναι ὅτι ἀντὶ σημειακῶν στοιχειωδῶν σωματίων ἔχουμε μικροσκοπικὲς χορδὲς μῆκους  $10^{-32}$  cm. Τὸ μῆκος αὐτὸ εἶναι  $10^{18}$  φορές μικρότερο ἀπὸ τὶς διαστάσεις τοῦ πρωτονίου, δηλαδὴ πολὺ κοντὰ στὸ μηδέν. Τὸ γεγονὸς ὅμως ὅτι δὲν εἶναι ἀκριβῶς μηδέν ἔχει ὀρισμένες σημαντικὲς συνέπειες. Π.χ. ἀποφεύγει τὸν ἀπειρισμὸ ὀρισμένων ποσῶν τῆς θεωρίας βαρύτητος, ποὺ δὲν ἐπέτρεπαν ἕως τώρα τὴν κβάντιση τῆς βαρύτητος. Τὰ διάφορα στοιχειώδη σωματῖα ἐμφανίζονται σὰν ταλαντώσεις τῶν ὑπερχορδῶν.

Ἡ θεωρία αὐτὴ ἔχει σὰν ὄριο τῇ Γενικῇ Σχετικότητῃ ὅταν οἱ ἀποστάσεις εἶναι σχετικὰ μεγάλες. Ἐπίσης ὄριο τῆς θεωρίας αὐτῆς εἶναι ἡ Ὑπερσυμμετρία, ποὺ ἀποτελεῖ τὴ βάση τῶν κυριότερων θεωριῶν τῆς Μεγάλης Ἑνοποιήσεως (GUT).

Ὑπάρχουν 6 διαφορετικὲς θεωρίες γιὰ τὶς ὑπερχορδές. Οἱ 5 ἀπὸ αὐτὲς ἀναφέρονται σὲ χῶρο 10 διαστάσεων καὶ μία σὲ χῶρο 11 διαστάσεων. Οἱ θεωρίες ὅμως αὐτὲς δὲν εἶναι ἀναξάρτητες, ἀλλὰ κάθε μία εἶναι ὄριο κάποιας ἄλλης, ὅταν ὀρισμένα ποσὰ γίνονται πολὺ μικρὰ ἢ πολὺ μεγάλα. Ὁ E. Witten, τοῦ Ἰνστιτούτου Προκεχωρημένων Σπουδῶν τοῦ Princeton, ἐμελέτησε τὶς σχέσεις τῶν θεωριῶν αὐτῶν καὶ κατέληξε στὸ ὅτι ὅλες εἶναι εἰδικὲς μορφές μιᾶς ἄγνωστης ἀκόμη θεωρίας M, ὅπου τὸ M σημαίνει Μαγική, ἢ Μυστηριώδης, ἢ Μεμβράνη.

Ἐνας ἀπὸ τοὺς πιὸ θερμοὺς ὑποστηρικτὲς τῆς θεωρίας τῶν Ὑπερχορδῶν εἶναι ὁ Δ. Νανόπουλος, ὁ ὁποῖος ἔχει διατυπώσει μία παραλλαγὴ τῆς θεωρίας ποὺ ὀνομάζεται «μὴ κρίσιμη θεωρία».

Ὅμως ἡ θεωρία τῶν Ὑπερχορδῶν εἶναι ἀκόμη ἀβέβαιη γιὰ 3 λόγους:

- (α) Οἱ ὑποθέσεις της εἶναι ad hoc καὶ δὲν εἶναι δυνατόν ν'ἀποδειχθοῦν.
- (β) Ἡ θεμελιώδης θεωρία (ἡ Μυστηριώδης θεωρία M) δὲν ἔχει ἀκόμη διατυπωθεῖ, καὶ
- (γ) Τὸ κυριότερο μειονέκτημά της εἶναι ὅτι δὲν ὑπάρχει τρόπος νὰ ἐλεγχθεῖ πειραματικὰ (πρὸς τὸ παρὸν τουλάχιστον). Ἐπομένως ἡ θεωρία αὐτὴ δὲν ἐπαληθεύεται ἀπὸ κάποιο πείραμα.

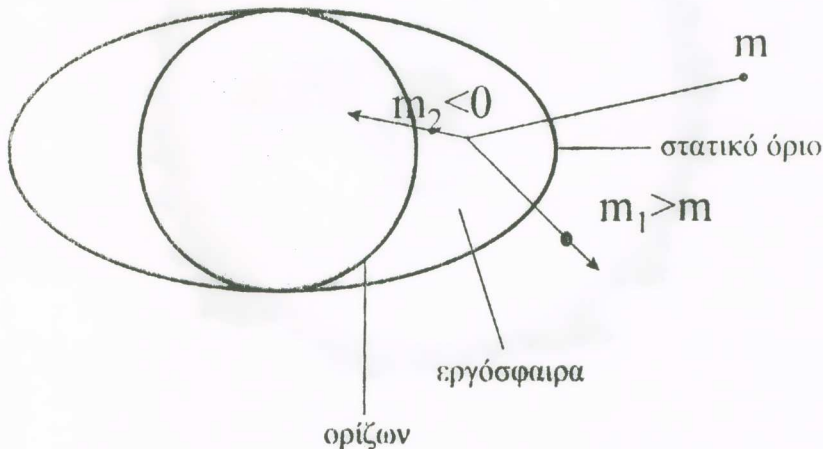
Γιὰ τοὺς λόγους αὐτοὺς τόσο ὁ Hawking ὅσο καὶ ὁ Penrose, ἀντιτίθενται στὴ θεωρία τῶν ὑπερχορδῶν. Ὅπως λέει χαρακτηριστικὰ ὁ Hawking, ἡ θεωρία τῶν Ὑπερχορδῶν «has been oversold», ποὺ σημαίνει ὅτι πουλήθηκε παραπάνω ἀπὸ ὅσο ἀξίζουν οἱ μετοχές της.

## B) Ἡ Κβαντικὴ Θεωρία τῆς Βαρύτητος τῶν Hawking καὶ Hartle

Ἡ ἱστορία τῆς κβαντικῆς θεωρίας τῆς βαρύτητος ἀρχίζει ἀπὸ τὴν ἐργασία περὶ μελανῶν ὀπῶν τοῦ Δ. Χριστοδούλου (1970).

Ὁ Χριστοδούλου διεπίστωσε ὅτι στὶς μελανὲς ὀπὲς ὑπάρχουν ἀντιστρεπτά καὶ μὴ ἀντιστρεπτά φαινόμενα. Ἡ μάζα  $M$  μιᾶς περιστρεφόμενης μελανῆς ὀπῆς (μελανῆς ὀπῆς Kerr) ἀποτελεῖται ἀπὸ 2 μέρη. Μία ἀνάγωγη μάζα  $M_\alpha$  καὶ μία μάζα  $M_\pi$  ποὺ εἶναι ἴση μὲ τὴν ἐνέργεια περιστροφῆς. Ἡ ἀνάγωγη μάζα  $M_\alpha$  δὲν μπορεῖ νὰ ἐλαττωθεῖ, ἀλλὰ ἡ μάζα  $M_\pi$  μπορεῖ νὰ αὐξήσῃ ἢ νὰ ἐλαττωθεῖ, ἀν ἀλλάξῃ ἡ περιστροφή. Ἄν π.χ. ἓνα σωματίο προσπέσει στὴ μελανὴ ὀπὴ  $M$ , εἶναι δυνατὸν νὰ αὐξήσῃ τὴν ταχύτητα περιστροφῆς ὅταν ἔλθῃ μὲ κατάλληλη γωνία προσπτώσεως. Τὸ φαινόμενο ὅμως αὐτὸ εἶναι ἀντιστρεπτό, δηλαδὴ μία ἄλλη πρόσπτωση σωματίου ἀπὸ ἄλλη διεύθυνση εἶναι δυνατὸν νὰ ἐπιβραδύνῃ τὴν περιστροφή κατὰ ἴσο ποσόν.

Ἄν ὅμως ἡ πρόσπτωση γίνῃ κατ' εὐθείαν πρὸς τὸ κέντρο, τότε αὐξάνεται ἡ ἀνάγωγη μάζα  $M_\alpha$  καὶ αὐτὸ τὸ φαινόμενο εἶναι μὴ ἀντιστρεπτό.



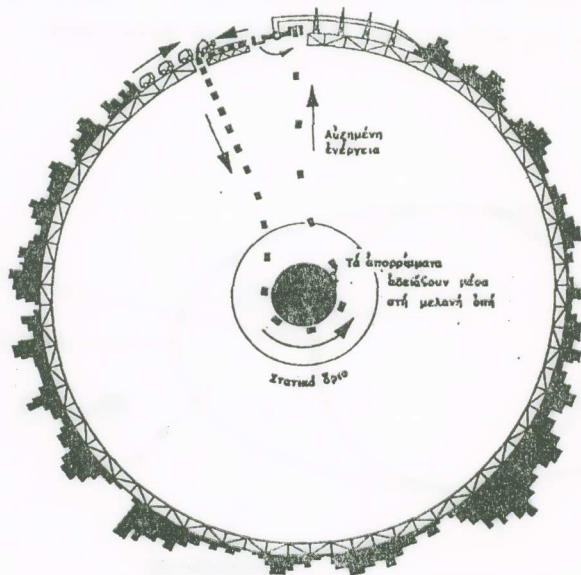
Σχ. 6. Ἡ διάσπαση ἑνὸς σωματίου μάζας  $m$  στὴν ἐργόσφαιρα μιᾶς περιστρεφόμενης μελανῆς ὀπῆς.

Ἡ ἐλάττωση τῆς μάζας  $M_\pi$  (λόγω ἐλαττώσεως τῆς ταχύτητος περιστροφῆς τῆς μελανῆς ὀπῆς) μπορεῖ νὰ ἀποδώσῃ τεράστια ποσὰ ἐνεργείας. Ἕνας τρόπος γιὰ νὰ ἐπιτευχθεῖ αὐτὸ εἶναι ὁ μηχανισμὸς Penrose, ποὺ συνίσταται στὸ ἐξῆς: Γύρω ἀπὸ τὸν ὀρίζοντα τῆς περιστρεφόμενης μελανῆς ὀπῆς ὑπάρχει μία περιοχὴ, ποὺ ὀνομάζεται ἐργόσφαιρα (σχ. 6), μέσα στὴν ὁποία συμβαίνουν διάφορες ἀντιδράσεις π.χ. διασπάσεις σωματίων. Ἐτσι ἓνα σωματίο  $m$  μπορεῖ νὰ διασπασθεῖ

σὲ 2 σωματία  $m_1$  καὶ  $m_2$ , ἀπὸ τὰ ὁποῖα τὸ  $m_2$  πέφτει μέσα στὸν ὀρίζοντα τῆς μελανῆς ὀπῆς, ἐνῶ τὸ  $m_1$  βγαίνει ἔξω σὲ μεγάλη ἀπόσταση. Τὸ ἰδιάζον στὴν ἐργόσφαιρα εἶναι ὅτι τὸ  $m_1$  μπορεῖ νὰ ἔχει ἀρνητικὴ μάζα, ὅποτε ἀπὸ τὴ σχέση τῆς διατηρήσεως τῆς μάζας

$$m = m_1 + m_2 \quad (4)$$

προκύπτει ὅτι τὸ  $m_1$  ἔχει μάζα μεγαλύτερη ἀπὸ τὸ  $m$ . Ἐτσι προσφέρουμε ἐνέργεια  $mc^2$  καὶ παράγουμε ἐνέργεια  $m_1c^2$ . Ἡ ἐνέργεια τελικὰ ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὴν ἐνέργεια  $M_{\pi}c^2$  τῆς περιστροφῆς τῆς μελανῆς ὀπῆς.



Σχ. 7. Φανταστικὴ παράσταση μιᾶς πόλεως γύρω ἀπὸ μία περιστρεφόμενη μελανὴ ὀπή. Τὰ ἀπορρίμματα διασπῶνται μέσα στὴν ἐργόσφαιρα, (μεταξὺ τοῦ στατικοῦ ὁρίου καὶ τοῦ ὀρίζοντος) καὶ μέρος τῶν προϊόντων διασπάσεως ἐπανέρχονται πρὸς τὰ ἔξω μεταφέροντας ἐνέργεια.

Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ μπορεῖ νὰ παραχθεῖ ἐνέργεια πολὺ περισσότερη ἀπὸ τὸν ἐκμηδενισμὸ τῆς ὕλης  $m$ . Μιὰ παραστατικὴ εἰκόνα γιὰ τὸν τρόπο παραγωγῆς τῆς ἐνέργειας αὐτῆς δίνει τὸ σχ. 7, ποὺ παριστάνει μιὰ φανταστικὴ πόλη κτισμένη γύρω ἀπὸ μία μελανὴ ὀπή Kerr (περιστρεφόμενη μελανὴ ὀπή). Τὰ ἀπορρίμματα τῆς πόλεως κατέρχονται στὴν ἐργόσφαιρα καὶ διασπῶνται. Ἐνα μέρος  $m_2$  ἀπὸ αὐτὰ ἀποκατᾶ



άρνητική μάζα και πέφτει στον όριζοντα της μελανής όπης, ενώ τὸ υπόλοιπο  $m_1$  αποικτᾶ μεγαλύτερη ἐνέργεια δηλαδὴ  $m_1 c^2 > m c^2$ . Τὰ σωμάτια τῆς μάζης  $m_1$  θέτουν σὲ λειτουργία τὰ ἐργοστάσια τῆς πόλεως, καὶ δὲν καταστρέφονται, ἀλλὰ χρησιμοποιοῦνται γιὰ μία νέα διεργασία παραγωγῆς ἐνεργείας. Αὕτῃ ἡ μέθοδος μπορεῖ νὰ λειτουργήσῃ ἐπὶ δισεκατομύρια ἔτη καλύπτοντας τὶς ἀνάγκες τῆς πόλεως. Ὡς σημειωθεῖ ὅτι ἡ διαθέσιμη μάζα  $M_\pi$  εἶναι μερικὲς μάζες ἡλίου, ἐνῶ ἡ ἀπώλεια ἀπὸ τὸν ἥλιο ὀλίγων ἐκατοστῶν τῆς μάζης του μπορεῖ νὰ τὸν διατηρήσῃ σὲ ζωὴ ἐπὶ 10 δισεκατομύρια ἔτη τουλάχιστον.

Πάντως, ἔστω καὶ μετὰ πολλὰ δισεκατομύρια ἔτη, ἡ μάζα περιστροφῆς  $M_\pi$  τῆς μελανῆς όπης θὰ χαθεῖ καὶ τότε ἡ περιστροφή θὰ σταματήσῃ. Ἡ μελανὴ όπη θὰ εἶναι πλέον μία μὴ περιστρεφόμενη μελανὴ όπη Schwarzschild. Τότε ἡ ἐργόσφαιρα θὰ μηδενισθεῖ καὶ ἡ παραγωγή ἐνεργείας κατὰ Penrose θὰ σταματήσῃ.

Ἡ ἀνακάλυψη τοῦ Χριστοδούλου περὶ ἀντιστρεπτῶν καὶ μὴ ἀντιστρεπτῶν φαινομένων σὲ μία μελανὴ όπη ἔδειξε ὅτι ὑπάρχει μία ἀναλογία μεταξὺ τῶν φαινομένων βαρύτητος στὴ μελανὴ όπη καὶ τῶν φαινομένων τῆς θερμοδυναμικῆς. Ἔτσι ὁ Bekenstein (1972) ἐθεώρησε ὅτι ἡ μελανὴ όπη ἔχει ἐντροπία, ἡ ὁποία εἶναι ἴση μὲ τὸ  $1/4$  τοῦ ἐμβαδοῦ  $A$  τοῦ όρίζοντος, δηλαδὴ

$$S = A/4 \quad (5)$$

καὶ αὐτὸ τὸ ποσὸν εἶναι ἀνάλογο πρὸς τὸ τετράγωνο τῆς μάζης ( $M^2$ ).

Προχωρώντας τοὺς συλλογισμοὺς αὐτοὺς ὁ Hawking (1974) διατύπωσε τὴν ἄποψη ὅτι ἡ μελανὴ όπη ἔχει ὄχι μόνο ἐντροπία, ἀλλὰ καὶ θερμοκρασία  $T$  ποὺ εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογη τῆς μάζας

$$T \simeq 1/M \quad (6)$$

Αὕτῃ ἡ ἄποψη ὁδηγεῖ σὲ μερικὰ περίεργα συμπεράσματα.

Ἡ μελανὴ όπη συμπεριφέρεται σὰν μέλαν σῶμα. Δηλαδὴ ἂν ἡ θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος εἶναι μεγαλύτερη, τότε ἀπορροφᾷ ἐνέργεια, ἂν ὅμως τὸ περιβάλλον ἔχει μικρότερη θερμοκρασία, τότε ἡ μελανὴ όπη ἐκπέμπει ἐνέργεια σὰν μέλαν σῶμα.

Ὡς σημειωθεῖ ὅτι ἡ κβαντικὴ ἐκπομπὴ αὐτῇ ἐνεργείας ἀφορᾷ τὶς σφαιρικὲς μελανὲς όπες Schwarzschild καὶ δὲν ἔχει καμμία σχέση μετὰ τὴν ἐκπομπὴ ἐνεργείας μὲ τὸν κλασικὸ μηχανισμό Penrose ποὺ ἀφορᾷ περιστρεφόμενες μελανὲς Kerr.

Τὸ περίεργο εἶναι ὅτι ἡ θερμοκρασία εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογη τῆς μάζης. Μία συνήθης μελανὴ όπη μὲ μάζα 3 φορές τῇ μάζᾳ τοῦ ἡλίου ἔχει θερμοκρασία



τῆς τάξεως τῶν  $10^{-7}$  βαθμῶν Kelvin, δηλαδή πολὺ μικρότερη ἀπὸ τὴ θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος.

Ἀλλὰ μιὰ ἀρχέγονη μελανὴ ὀπὴ μὲ μάζα  $10^9$  τόνους (ὅσο ἓνα βουνὸ τῆς γῆς) ἔχει θερμοκρασία  $10^{11}$  Kelvin καὶ ἐμφανίζεται σὰν ἓνα λαμπρὸ ἀστέρι στὸν οὐρανό. Ἡ ἀκτινοβολία της εἶναι τόσο ἔντονη ὥστε ἡ ὅλη της μάζα μετατρέπεται σὲ ἐνέργεια μέσα σὲ  $10^{10}$  ἔτη, δηλαδή σὲ χρόνον μικρότερο ἀπὸ τὴν ἡλικία τοῦ Σύμπαντος. Καθὼς ἡ μάζα ἐλαττώνεται ἡ θερμοκρασία αὐξάνει καὶ ἡ μελανὴ ὀπὴ ἐξαφανίζεται σὲ μία τεράστια ἔκρηξη.

Τὸ φαινόμενο τῆς ἀκτινοβολίας τῆς μελανῆς ὀπῆς εἶναι κβαντικῆς φύσεως, ἐνῶ στὴν κλασικὴ θεωρία τῆς Σχετικότητος οἱ μελανὲς ὀπὲς μόνον ἀπορροφοῦν καὶ δὲν ἀκτινοβολοῦν.

Ἐδῶ βλέπουμε γιὰ πρώτη φορὰ τὴ σύνδεση ἑνὸς φαινομένου βαρύτητος, τῆς μελανῆς Kerr, καὶ ἑνὸς κβαντικοῦ φαινομένου, τῆς ἀκτινοβολίας Planck τῆς μελανῆς ὀπῆς. Ὁ Hawking δίνει ἰδιαίτερη ἔμφαση στὸ γεγονός ὅτι οἱ μελανὲς ὀπὲς ἔχουν ἐντροπία. Ἡ ἐντροπία αὐτὴ εἶναι διαφορετικῆς φύσεως ἀπὸ τὴν συνήθη ἐντροπία, ποὺ ὀφείλεται στὴν κατανομὴ τῶν σωματίων τῆς ὕλης. Εἶναι μία βαρυτικὴ ἐντροπία ποὺ αὐξάνει καθὼς ἡ μάζα τῆς μελανῆς ὀπῆς ἐλαττώνεται μέχρις ὅτου ἐξαφανισθεῖ.

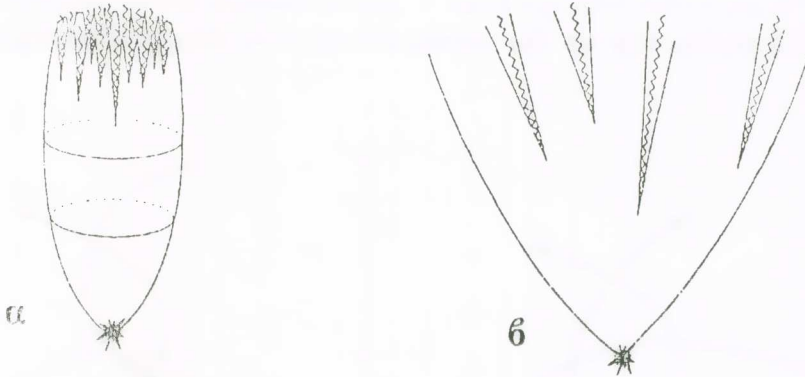
Ὁ Penrose ἐπεξετείνει τὶς ἰδέες αὐτὲς γιὰ τὴν ἐντροπία σὲ ὁλόκληρο τὸ Σύμπαν. Ὅπως εἶδαμε προηγουμένως [ἐξίσωση (2)] ἡ καμπυλότης τοῦ Σύμπαντος χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὸν τανυστὴ Riemann, ὁ ὁποῖος χωρίζεται σὲ δύο μέρη, τὸ συμμετρικὸ καὶ τὸ ἀντισυμμετρικὸ (συγκεκριμένα τὸν τανυστὴ Ricci καὶ τὸν τανυστὴ Weyl). Ὁ Penrose παρατηρεῖ ὅτι ὁ τανυστὴς Weyl χαρακτηρίζει τὴν ἀσυμμετρίαν τοῦ χωροχρόνου καὶ δίνει ἓνα μέτρο τῆς ἐντροπίας τοῦ Σύμπαντος.

Ἡ ἐντροπία τοῦ Σύμπαντος αὐξάνει μὲ τὸ χρόνο, δηλαδή τὸ Σύμπαν ἀναπτύσσει ὅλο καὶ μεγαλύτερες ἀνισοτροπίες, κυρίως μὲ τὴ δημιουργία μελανῶν ὀπῶν (σχ. 8). Ἄν τὸ Σύμπαν τελικὰ καταρρεῦσει σὲ μιὰ τελικὴ ἀνωμαλία (Big Crunch), αὐτὴ δὲν θὰ εἶναι καθόλου ὅμοια μὲ τὴν ἀρχικὴ ἀνωμαλία (Big Bang). Ὑπολογίζεται ὅτι ἡ σημερινὴ ἐντροπία τοῦ Σύμπαντος (ἀνὰ σωματίο) εἶναι  $10^9$ , καὶ ὅτι ἡ ἀρχικὴ ἐντροπία ἦταν μηδὲν ἢ πολὺ κοντὰ στὸ μηδέν, ἐνῶ ἡ τελικὴ ἐντροπία θὰ εἶναι  $10^{40}$ , δηλαδή ἀσυγκρίτως μεγαλύτερη.

Ἄν ἡ διαστολὴ θὰ συνεχίζεται ἐπ' ἄπειρον, πάλιν ἡ ἐντροπία τοῦ Σύμπαντος θὰ αὐξάνει, χωρὶς ὅμως ποτὲ ἡ διαστολὴ νὰ σταματήσει.

Ἄς ἐπιστρέψουμε ὅμως στὸ ἀρχικὸ Σύμπαν. Ἐνα ἀπὸ τὰ πιὸ σημαντικὰ θεωρήματα τῆς κλασικῆς Γενικῆς Θεωρίας τῆς Σχετικότητος ἦταν τὸ θεώρημα

τῶν Hawking καὶ Penrose (1970) περὶ τῆς ἀρχικῆς ἀνωμαλίας τοῦ Σύμπαντος. Τὸ θεώρημα αὐτὸ ἀποδεικνύει ὅτι ἡ ἀρχικὴ ἀνωμαλία τοῦ Big Bang εἶναι ἀναπόφευκτη καὶ ἂν ἀκόμη ἡ διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος δὲν εἶναι ἀκριβῶς ἀκτινικὴ καὶ ὁμοιόμορφη. Αὐτὸ γίνεται καλὺτερα κατανοητὸ ἂν θεωρήσουμε τὴν κατάρρευση ἑνὸς



Σχ. 8. Ἡ ἐντροπία τοῦ σύμπαντος αὐξάνει μετὰ τὴ δημιουργία μελανῶν ὀπῶν, εἴτε τὸ Σύμπαν εἶναι κλειστὸ καὶ τείνει στὸ Big Crunch (α), εἴτε εἶναι ἀνοικτὸ καὶ διαστέλλεται συνεχῶς (β).

γαλαξίου ποὺ δημιουργεῖ μία τεράστια μελανὴ ὀπή. Ἄν θεωρήσουμε μία τέτοια κατάρρευση στὴ Νευτώνεια θεωρία καὶ οἱ ταχύτητες καταρρεύσεως δὲν εἶναι ἀκριβῶς ἀκτινικές, τότε ἡ κατάρρευση δὲν ὀδηγεῖ σὲ σημεῖο, ἀλλὰ ἀπλῶς σὲ μία μεγάλη πυκνότητα. Οἱ τροχιές τῶν ἐπὶ μέρους ἀστέρων εἶναι περίπου ὑπερβολές, ποὺ ἀρχικὰ πλησιάζουν πρὸς τὸ κέντρο ἀλλὰ κατόπιν ἀπομακρύνονται πρὸς τὰ ἔξω. Εἶναι τὸ ἴδιο φαινόμενο μετὰ τὴν προσέγγιση τῶν κομητῶν στὸν ἥλιο ποὺ δὲν ὀδηγεῖ στὴν πτώση τους στὸν ἥλιο, ἀλλὰ μετὰ τὸ περιήλιο οἱ κομηῆτες ἀπομακρύνονται πάλι (Σχ. 9α).

Στὴ Σχετικότητα ὅμως ἡ βαρύτης εἶναι πολὺ ἰσχυρότερη ἀπὸ τὴ Νευτώνεια βαρύτητα καὶ ἐπομένως ὅταν οἱ ἀστέρες πλησιάσουν τὸ κέντρο δὲν φεύγουν πάλι πρὸς τὰ ἔξω, ἀλλὰ κυριολεκτικὰ ἀπορροφῶνται ἀπὸ τὸ κέντρο καὶ ὅλη ἡ μάζα τους καταλήγει στὴν κεντρικὴ ἀνωμαλία, δηλαδὴ σὲ μία μελανὴ ὀπή. (Σχ. 9β).

Τὸ ἴδιο φαινόμενο περιγράφει τὸ Big Bang ἂν ἀντιστρέψουμε τὴ φορά τοῦ χρόνου.

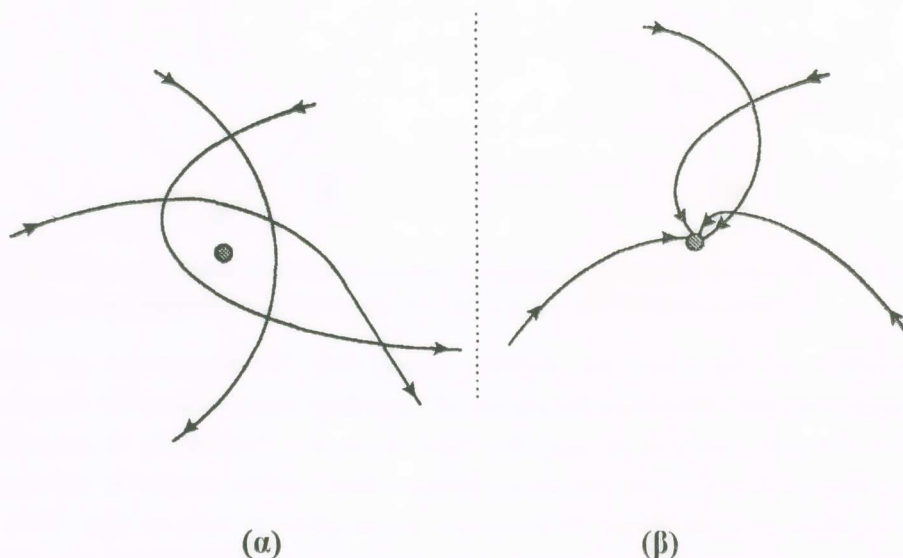
Ἄν παρακολουθήσουμε τὶς τροχιές τῶν γαλαξίων πρὸς τὰ πίσω, θὰ δοῦμε ὅτι ὅλες συγχλίνουν σὲ ἓνα σημεῖο, ἔστω καὶ ἂν οἱ κινήσεις δὲν εἶναι ἀκριβῶς ἀκτινικές πρὸς τὰ ἔξω.

Τὸ θεώρημα αὐτὸ δικαίως θεωρεῖται ἡ πιὸ σημαντικὴ εξέλιξη στὴ Σχετικότητα μετὰ τὴν ἀρχικὴ τῆς φάση ποὺ περιλαμβάνει τὶς ἐξισώσεις τοῦ Einstein καὶ τὶς ἐφαρμογές τῆς στὶς μελανές ὀπές καὶ στὴ διαστολὴ τοῦ Σύμπαντος.

Όπως σημειώνει ο Hawking «Αυτό το θεώρημα οδήγησε στην εγκατάλειψη των προσπαθειών (κυρίως από Ρώσους) να δείξουν ότι υπήρξε μια προηγούμενη φάση συστολής και μία μη ανώμαλη αναπήδηση σε διαστολή».

Τί γίνεται όμως όταν προστεθεί η κβαντική θεωρία;

Το μεγαλύτερο πρόβλημα αφορά το χρονικό διάστημα πριν από το χρόνο Planck, όποτε η βαρύτης είχε την ίδια περίπου ένταση με τις άλλες δυνάμεις της φύσεως.



Σχ. 9. Η κατάρρευση ενός σμήνους στη Νευτώνεια περίπτωση (α) ακολουθείται από διαστολή, ενώ στην περίπτωση της Σχετικότητας (β) οδηγεί σε μία ανωμαλία στο κέντρο.

Επομένως στη φάση αυτή είναι αναγκαίο να θεωρήσουμε μια ένοποιημένη θεωρία που να ένοποιεί όλες τις δυνάμεις της φυσικής.

Η κβαντική θεωρία βαρύτητας, που ανέπτυξαν ο Hawking και άλλοι, χρησιμοποιεί σαν βάση μια εξίσωση που λέγεται «εξίσωση Wheeler-de Witt»

$$W\Psi = \left[ G_{ijkl} \frac{\partial^2}{\partial h_{ij} \partial h_{kl}} + \sqrt{h} {}^3R \right] \Psi = 0 \quad (7)$$

και αποτελεί μία γενίκευση της εξίσωσης του Schrodinger

$$S\Psi = \left[ i\hbar \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) - V \right] \Psi = 0 \quad (8)$$

Όπως η εξίσωση του Schroedinger περιγράφει τή συνήθη κβαντική θεωρία, έτσι και η εξίσωση Wheeler-de Witt περιγράφει τήν κβαντική βαρύτητα. Υπάρχουν όμως δύο βασικές διαφορές μεταξύ των εξισώσεων Schroedinger, και Wheeler-de Witt. Η εξίσωση Schroedinger αφορά κύματα που

(α) κινούνται στο συνήθη χρόνο, και

(β) αναφέρονται στην πιθανότητα  $|\Psi|^2$  να εύρεται ένα σωματίο σε ορισμένη θέση σε χρόνο  $t$ . Αντίθετα η εξίσωση Wheeler-de Witt

(α) περιλαμβάνει το χρόνο σαν μιὰ συνεταγμένη, παράλληλα προς τις συνεταγμένες του χώρου, και

(β) η συνάρτηση  $\Psi$  αναφέρεται όχι σε σωματία, αλλά σε Σύμπαντα.

Η πιο σημαντική θεωρία κβαντικής βαρύτητας είναι η θεωρία «ελλείψεως όριακων συνθηκών» των Hawking και Hartle του 1983. Δύο είναι τα κύρια χαρακτηριστικά τής θεωρίας αυτής:

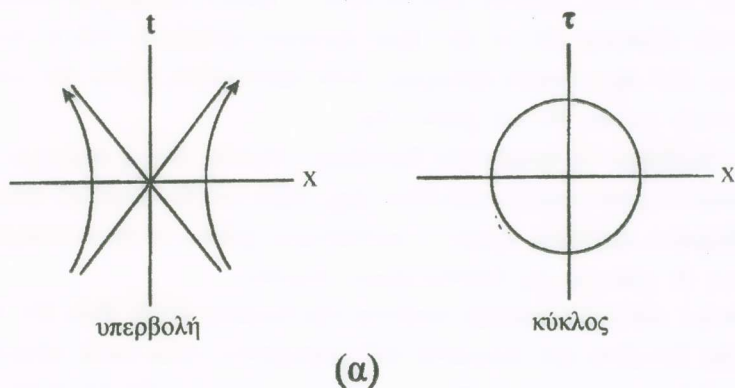
(α) ότι αναφέρεται σε ένα σύνολο άπειρων Συμπάντων που είναι συμπαγή, δηλαδή σε όλα τα μοντέλα Συμπάντων που δεν εκτείνονται στο άπειρο, και

(β) ο χρόνος κοντά στο Big Bang θεωρείται φανταστικός και κατά συνέπεια η αρχή του Σύμπαντος δεν είναι πλέον μιὰ ανωμαλία του χωροχρόνου, όπως στην κλασική Σχετικότητα, αλλά ένα όμαλο σημείο σε ένα φανταστικό χρόνο.

Για να εξηγήσουμε τί σημαίνει φανταστικός χρόνος ας θεωρήσουμε το γραμμικό στοιχείο Lorentz στην ειδική Σχετικότητα σε μιὰ διάσταση χώρου

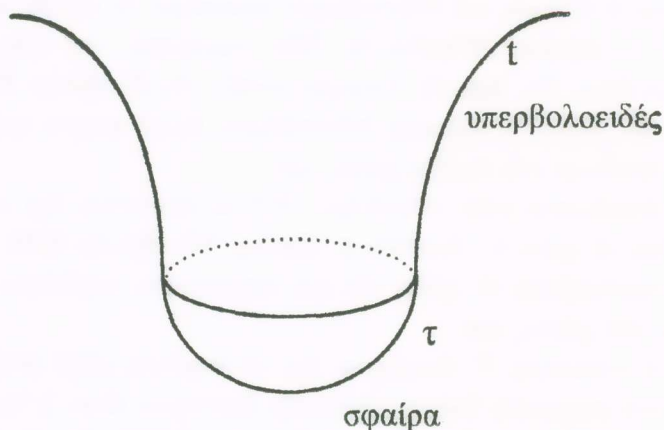
$$ds^2 = dx^2 - c^2 dt^2 \quad (9)$$

Αυτό παριστάνει μιὰ υπερβολή (σχ. 10).



Σχ. 10. (α) Μία υπερβολική κίνηση στον πραγματικό χρόνο γίνεται κυκλική κίνηση σε φανταστικό χρόνο.





(β)

(β) Στὸν φανταστικό χρόνο τῶν Hawking καὶ Hartle ἡ ἀρχὴ τοῦ Σύμπαντος στρογγυλοποιεῖται, ἐνῶ ἀργότερα ἡ δικστυλὴ ἀκολουθεῖ ἓνα ὑπερβολοειδὲς σὲ πραγματικό χρόνο  $t$ .

Ἄν ὁμῶς ἀλλάξουμε τὸ χρόνο σὲ φανταστικό,

$$d\tau = icdt \quad (10)$$

τὸ γραμμικὸ στοιχεῖο γίνεται

$$ds^2 = dx^2 + d\tau^2 \quad (11)$$

καὶ παριστάνει ἓνα κύκλο.

Ἔτσι ἐνῶ στὴν κλασικὴ Σχετικότητα ὁ χρόνος διακρίνεται σαφῶς ἀπὸ τὸ χῶρο (στὴν ἐξίσωση (9) τὸ  $dt^2$  ἔχει ἀρνητικὸ πρόσημο), ἐνῶ ἡ συντεταγμένη τοῦ χῶρου  $dx^2$  ἔχει θετικὸ πρόσημο), στὸν φανταστικό χρόνο δὲν ὑπάρχει διάκριση μεταξὺ χρόνου  $d\tau$  καὶ χῶρου  $dx$ .

Ἄν δεχθοῦμε τὴ θεωρίαν τῶν Hawking - Hartle, τότε ἡ ἀρχὴ τοῦ Σύμπαντος κατὰ κάποιον τρόπο στρογγυλοποιεῖται (σχ. 10β) καὶ δὲν ἀποτελεῖ πλέον μίαν ἀνωμαλία. Βεβαίως ἀργότερα πρέπει ὁ φανταστικὸς χρόνος νὰ ἔγινε πραγματικὸς γιὰ νὰ ἔχουμε τὸ γνωστὸ μας διαστελλόμενο Σύμπαν.

Πάντως μίαν «φιλοσοφικὴ» συνέπεια τῆς θεωρίας αὐτῆς εἶναι ὅτι ἡ αἰτία τοῦ Σύμπαντος δὲν εἶναι μιὰ ἀνωμαλία τοῦ χωροχρόνου, ἀλλὰ κατὰ κάποιον τρόπο τὸ Σύμπαν εἶναι ἡ αἰτία τοῦ ἑαυτοῦ του. Ἔτσι πολλοὶ μιλοῦν γιὰ ἀναίτιο ἐμφάνιση τοῦ Σύμπαντος. Θεωροῦν μάλιστα τὴν ἐμφάνιση τοῦ Σύμπαντος ὡς ἐκδήλωση τῆς ἀρχῆς τῆς ἀβεβαιότητος τοῦ Heisenberg

$$\Delta E \cdot \Delta t = h \quad (12)$$

όπου

$$\Delta E = Mc^2 \quad (13)$$

και  $M$  αποτελεί τη μάζα του όλου Σύμπαντος.

Όμως η θεωρία αυτή παρουσιάζει όρισμένες σημαντικές έννοιολογικές δυσκολίες:

(α) είναι δύσκολο να φαντασθούμε ότι το Σύμπαν μας είναι στην πραγματικότητα μια άπειρία Συμπάντων.

(β) Ο φανταστικός χρόνος σήμερα είναι πραγματικός. Πώς έγινε ή αλλαγή από τον φανταστικό χρόνο στον γνωστό μας πραγματικό χρόνο;

(γ) Η έννοια της άπροσδιοριστίας του Heisenberg αναφέρεται στον συνήθη χώρο και χρόνο. Ποιά όμως είναι η έννοια του χώρου και του χρόνου προτού υπάρξει το Σύμπαν; Η άπροσδιοριστία του Heisenberg αναφέρεται σε διακυμάνσεις του κενού που υπάρχει ανάμεσα στα υλικά σώματα. Έξω όμως από το Σύμπαν δεν υπάρχει τίποτε.

Τις κυριότερες αντιρρήσεις στη θεωρία των Hawking και Hartle διατύπωσε ο Penrose σε μια σειρά διαλέξεων «The Nature of Space and Time», Princeton Univ. Press 1995, όπου ο Hawking και ο Penrose συζήτησαν τις έπιστημονικές διαφορές τους.

Έκτος των άλλων ο Penrose θεωρεί ως προτιμητέα τα υπερβολικά μοντέλα του Σύμπαντος, όπου το Σύμπαν δεν είναι κλειστό άνευ περάτων, αλλά εκτείνεται στο άπειρο. Τα μοντέλα αυτά είναι πιο πιθανά σήμερα αν έπιβεβαιωθεί ή έπιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος που παρατηρήθηκε τα δύο τελευταία έτη. Στην περίπτωση αυτή ή όλη θεωρία των Hawking και Hartle θα πρέπει να εγκαταλειφθεί.

Πάντως και αν ακόμη ή θεωρία αυτή αποδειχθεί σωστή, δεν λύει το «φιλοσοφικό» πρόβλημα της δημιουργίας.

Ούτε ή φράση «το Σύμπαν είναι ή αίτία του έαυτού του», έχει νόημα, ούτε ή αντίληψη ότι το Σύμπαν προήλθε από το μηδέν με μια άπροσδιοριστία Heisenberg έχει φυσικό νόημα. Γιατί τότε το βασικό έρώτημα είναι «Γιατί το μηδέν είχε τις ιδιότητες της κβαντικής θεωρίας; Πολύ πιο φυσικό θα ήταν το τίποτε να μη δημιουργεί τίποτε».

Αυτή την παρατήρηση την κάνει ο ίδιος ο Hawking, ο όποιος καταλήγει στο συμπέρασμα: «Γιατί πρέπει να υπάρχει το Σύμπαν; Αν θέλετε, μπορείτε να όρίσετε το Θεό σαν απάντηση σ' αυτή την έρώτηση».

Τὸ βασικὸ εἶναι ὅτι ἡ δημιουργία τοῦ Σύμπαντος δὲν προϋποθέτει ἓνα χρόνον πρὸ τῆς δημιουργίας, γιατί πρὶν ἀπὸ τὸ Σύμπαν δὲν ὑπῆρχαν οἱ ἔννοιες τοῦ χώρου καὶ τοῦ χρόνου. Ἔτσι ἡ καλύπτερη διατύπωση τῆς δημιουργίας εἶναι αὐτὴ τοῦ Ἱεροῦ Αὐγουστίνου «Non in tempore sed cum tempore finxit Deus mundum». Ὁ Θεὸς δὲν ἐδημιούργησε τὸν κόσμον ἐν χρόνῳ, ἀλλὰ ὁμοῦ μετὰ τοῦ χρόνου.

### Γ. Ἡ Μὴ Γραμμικὴ Κβαντικὴ Θεωρία τοῦ Penrose

Ἡ βασικὴ ιδέα τοῦ Penrose εἶναι ὅτι ἡ θεωρία τοῦ Παντός (Theory of Everything) θὰ πρέπει νὰ βασισθεῖ ὄχι στὴν κβάντιση τῆς βαρύτητος, ἀλλὰ στὴν ἀντίθετη κατεύθυνση, ποὺ θὰ τὴν ἔλεγα «βαρυτικοποίηση τῆς κβαντικῆς θεωρίας». Μ' αὐτὸ ἐννοεῖ ὅτι ἡ κβαντικὴ θεωρία ποὺ εἶναι γραμμικὴ (π.χ. γραμμικὴ εἶναι ἡ ἐξίσωση τοῦ Schroedinger), θὰ πρέπει νὰ τροποποιηθεῖ ὥστε νὰ προστεθοῦν σ' αὐτὴ μὴ γραμμικοὶ ὅροι, ποὺ θὰ ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὴ βαρύτητα.

Ἡ ιδέα αὐτὴ εἶναι πραγματικὰ ἐπαναστατικὴ. Ἡ διαφορὰ μετὰξὺ μιᾶς γραμμικῆς καὶ μιᾶς μὴ γραμμικῆς θεωρίας εἶναι θεμελιώδης. Π.χ. εἶναι γνωστὴ ἡ λεγόμενη «μὴ γραμμικὴ ἐξίσωση Schroedinger», ἡ ὁποία ἔχει μερικὲς πολὺ ἐνδιαφέρουσες ιδιότητες. Π.χ. ἔχει λύσεις ποὺ παριστάνουν σολιτόνια, δηλαδὴ μεμονωμένα κύματα εἰδικῆς μορφῆς. Ἐνα μεμονωμένο σολιτόνιο μετατοπίζεται ἀμετάβλητο στὴ μορφὴ του γιὰ ἀπεριόριστο χρόνο. Ἄν ὅμως συναντήσῃ ἓνα δευτέρου σολιτόνιο, τότε ἀλληλεπιδρᾷ μὴ γραμμικὰ μαζὶ του καὶ γιὰ ἓνα χρονικὸ διάστημα τὰ δύο κύματα συμβάλλουν κατὰ ἓνα ιδιαίτερα πολὺπλοκο τρόπο (ὄχι μὲ τὴν ὑπέρθεση τοῦ ἐνὸς κύματος πάνω στὸ ἄλλο, ὅπως γίνεται στὰ γραμμικὰ κύματα). Μετὰ ὅμως τὴν ἀλληλεπίδραση τὰ δύο σολιτόνια χωρίζονται καὶ τὸ ἀρχικὸ σολιτόνιο ἐπανεμφανίζεται μὲ τὴν ἴδια μορφὴ καὶ τὴν ἴδια φορὰ καὶ ταχύτητα, σὰν νὰ μὴν εἶχε ὑποστῇ καμμία ἀλληλεπίδραση.

Ὑπάρχουν πολλὲς διαφορετικὲς ἐξισώσεις μὲ μερικὲς παραγώγους ποὺ ἔχουν λύσεις σολιτόνια. Αὐτὲς εἶναι οἱ ὀλοκληρώσιμες ἐξισώσεις. Ἀλλὰ τὸ σημαντικὸ εἶναι ὅτι ὑπάρχουν ἄπειρες ἄλλες ἐξισώσεις ποὺ ἔχουν κατὰ προσέγγιση σελιτονικὲς λύσεις. Δηλαδὴ δύο μεμονωμένα κύματα, ποὺ κάποτε ἀλληλεπιδροῦν, κατόπιν ξεχωρίζουν καὶ ἔχουν περίπου τὴν ἀρχικὴ μορφὴ. Ὑπάρχει ὅμως τότε ἓνα μικρὸ κατάλοιπο τῆς ἀλληλεπιδράσεως ποὺ μπορεῖ νὰ ὑπολογισθεῖ.

Ἡ θεωρία τῶν σολιτονίων ἔχει ἐφαρμοσθεῖ στὰ μαγνητικὰ μονόπολα καὶ μερικοὶ προσπαθοῦν νὰ ἐξηγήσουν ὅλα τὰ στοιχειώδη σωμάτια σὰν σολιτόνια. Τὰ σολιτόνια ἐμφανίζονται ἐπίσης στὴ σύγχρονη θεωρία τῶν ὑπερχορδῶν.

Ὁ Penrose προσπαθεῖ νὰ βρεῖ μιὰ κατάλληλη μὴ γραμμικὴ κβαντικὴ θεωρία ποὺ νὰ περιγράφῃ τὸ Σύμπαν. Ἡ βασικὴ του ιδέα εἶναι ὅτι ἡ μὴ γραμμικὴ



της θα είναι της τάξεως του μεγέθους της μάζης του βαρυτονίου (graviton), δηλαδή ελάχιστη, και γι' αυτό δεν θα μπορεί να ανιχνευθεί στο προσεχές μέλλον. Αυτό είναι από μία πλευρά ένα προσόν γιατί (α) η γραμμική κβαντική θεωρία έχει επαληθευθεί με καταπληκτική ακρίβεια και (β) γιατί όρισμένες βασικές έννοιες της γραμμικής θεωρίας, όπως οι γραμμές των φασμάτων, αποτελούν βασικά συστατικά της φυσικής που θα είναι δύσκολο ν' αλλάξουν.

Πάντως κατ' αρχήν μία μη γραμμική θεωρία αποφεύγει όρισμένα παράδοξα της γραμμικής θεωρίας, όπως η γάτα του Schroedinger, η οποία πριν από την παρατήρηση είναι εν μέρει ζωντανή και εν μέρει νεκρή. Αντίθετα μία μη γραμμική θεωρία έχει μία μόνον λύση, μία γάτα ζωντανή ή νεκρή, πάντως όχι μια γραμμική υπέρθεση των δύο δυνατών λύσεων της συνήθους εξίσωσης του Shroedinger.

Μία τέτοια θεωρία κατά τον Penrose, θα έχει σημαντική εφαρμογή στο αρχικό Σύμπαν.

#### Δ. Το Χωτικό Σύμπαν

Αφήσαμε τελευταία τη θεωρία που εισάγει στο Σύμπαν την έννοια του χάους.

Η θεωρία του χάους είχε μία τεράστια ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες και έχει εφαρμογές σ' όλους τους κλάδους της Επιστήμης. Παντού όπου υπάρχουν μη γραμμικά φαινόμενα εμφανίζεται και το χάος. Δεκάδες συνέδρια και χιλιάδες εργασίες γίνονται κάθε χρόνο γύρω από τα θέματα του χάους.

Έχει γίνει σήμερα κατανοητή η μετάβαση από την τάξη στο χάος καθώς η μη γραμμικότητα ενός συστήματος αυξάνει.

Το πιο σημαντικό είναι η διαπίστωση ότι η τάξη και το χάος συνυπάρχουν εν γένει στα μη γραμμικά συστήματα. Παλαιότερα διέκριναν τα συστήματα σε ολοκληρώσιμα (όπου το χάος είναι μηδέν) και έργοδικά (όπου το χάος είναι παντού). Ακόμη και κλασικά βιβλία όπως η Μηχανική του Landau και Lifshitz, διακρίνουν μόνον τις δύο αυτές περιπτώσεις. Όμως τόσο τα ολοκληρώσιμα όσο και τα έργοδικά συστήματα αποτελούν σπάνιες εξαιρέσεις, ενώ ο κανών είναι κάτι το ενδιάμεσο. Δηλαδή εν γένει σε ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων έχουμε τροχιές που είναι ολοκληρώσιμες (θεώρημα Kolmogorov, Arnold, Moser) και τροχιές χαοτικές.

Πολλά συστήματα είναι κοντά σε ολοκληρώσιμα, με λίγο χάος, και πολλά άλλα είναι κοντά σε έργοδικά συστήματα με πολύ χάος.

Σαν κλασικό παράδειγμα τάξεως θεωρείτο πάντα το ήλιακό σύστημα. Οι τροχιές των πλανητών και των δορυφόρων έθεωρούντο τα πρότυπα οργανωμένης κινήσεως. Όμως σήμερα γνωρίζουμε ότι το ήλιακό σύστημα είναι σε μεγάλο βαθμό

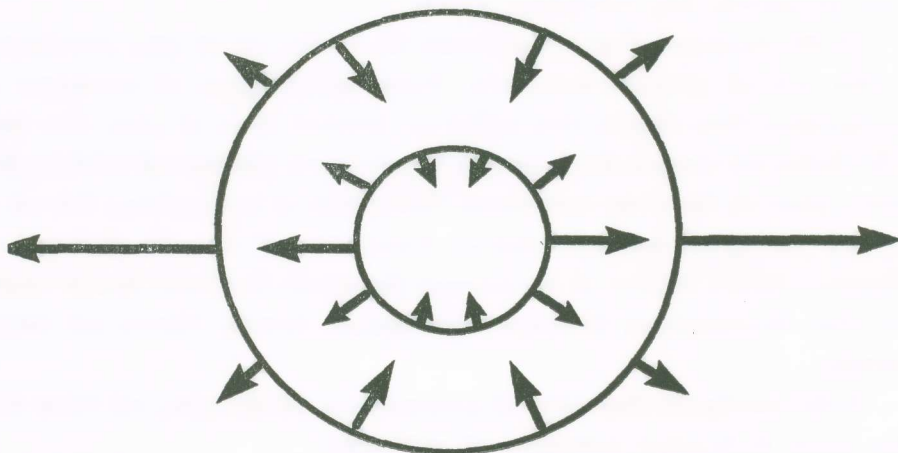
χαοτικό. Καί ἡ μὲν χαοτικὴ κίνησις τῶν μικρῶν πλανητῶν εἶναι δυνατόν νὰ ὑπολογισθεῖ σχετικὰ εὐκόλῃ με ὑπολογιστές, ἀλλὰ τώρα ξέρουμε ὅτι ἀκόμη καὶ οἱ μεγάλοι πλανῆτες ἔχουν λίγο χαοτικὲς τροχιές. Συνέπεια αὐτοῦ εἶναι ὅτι μετὰ μερικὰ δισεκατομμύρια χρόνια τὸ πλανητικὸ σύστημα θ' ἀρχίσει νὰ διαλύεται.

Ἀπὸ τὸ ἄλλο μέρος τὸ πλάσμα θεωρεῖται ἓνα κατ' ἐξοχὴν χαοτικὸ σύστημα. Γι' αὐτὸ ἄλλωστε καὶ ἡ παγίδευσή τοῦ πλάσματος γιὰ τὴν παραγωγὴ θερμοπυρρηνικῆς ἐνεργείας εἶναι τόσο δύσκολη. Ἀλλὰ ὑπάρχουν περιπτώσεις ποὺ σημαντικὸ μέρος τοῦ πλάσματος συμπεριφέρεται με τάξιν καὶ ὅπου τὸ χάος εἶναι σχετικὰ μικρό. (Τέτοιο παράδειγμα εἶναι οἱ ἐπιταχυντὲς ποὺ ἔχουν πολλὰς ὁργανωμένους τροχιές).

Μία περίπτωση ὅπου τὸ χάος ἔχει σημαντικὴ ἐφαρμογὴ στὴν Κοσμολογία εἶναι τὸ Χαοτικὸ Μοντέλο τοῦ Σύμπαντος.

Τὸ μοντέλο αὐτὸ προτάθηκε ἀπὸ τοὺς ρώσους Belinski, Khalatnikov καὶ Lifshitz, καὶ ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὸν ἀμερικανὸ Misner, τὸ 1969. Ὁ Misner τὸ ὀνόμασε Mixmaster ἐπειδὴ ἐθεωροῦσε ὅτι ἀντιπροσωπεύει ἓνα μοντέλο με ἐργονικότητα καὶ ἀνάμειξη (mixing).

Ἐνα τέτοιο μοντέλο ἀναφέρεται στὰ πρῶτα στάδια τοῦ Σύμπαντος, πρὶν ἀκόμη ἀπὸ τὸ χρόνο Planck. Πάντως τὸ μοντέλο αὐτὸ εἶναι κλασικόν, δηλαδὴ ἀναφέρεται μόνον σὲ ὁρισμένες λύσεις τῶν ἐξισώσεων πεδίου τοῦ Einstein. Τὸ κύριο χαρακτηριστικὸ του εἶναι ὅτι ἔχουμε συγχρόνως διαστολὴ καὶ συστολὴ στὸ Σύμπαν. Σὲ ἄλλες διευθύνσεις ἔχουμε διαστολὴ καὶ σὲ ἄλλες συστολὴ (σχ. 11) ἀργότερα ὅμως ἡ συστολὴ



Σχ. 11. Στὸ χαοτικὸ μοντέλο τοῦ Σύμπαντος ἔχουμε διαστολὴ πρὸς ὁρισμένες διευθύνσεις καὶ συστολὴ πρὸς ἄλλες διευθύνσεις.

καὶ ἡ διαστολὴ ἐναλλάσσονται κατὰ φαινομενικὰ τυχαῖο τρόπο. Ἔτσι τὸ ἀρχικὸ Σύμπαν ἀναμειγνύεται καὶ ἐπομένως οἱ διάφορες περιοχὲς τοῦ ἐπικοινωνοῦν.

Ἔτσι δὲν ὑπάρχει τὸ πρόβλημα τῆς αἰτιότητος ποὺ ὑποτίθεται ὅτι ἔλυσε ἡ θεωρία τοῦ πληθωρισμοῦ.

Δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ περιγράψω ἐδῶ τὴν ἱστορία τῆς θεωρίας τοῦ χαοτικοῦ μοντέλου τοῦ Σύμπαντος. Ἀρκεῖ νὰ πῶ ὅτι ἔχουν δημοσιευθεῖ ἀρκετὲς δεκάδες ἐργασιῶν πάνω στὸ θέμα αὐτό.

Σχετικὰ πρόσφατα (1994-95) ἀποδείχθηκε ὅτι τὸ μοντέλο Mixmaster εἶναι βασικὰ χαοτικό\*.

Παρ' ὅλον ὅτι ὑπάρχουν ὁργανωμένες τροχιὲς στὸ μοντέλο αὐτό, ἐν τούτοις ἐν γένει οἱ τροχιὲς εἶναι χαοτικές.

Κατόπιν αὐτοῦ ἡ θεωρία τοῦ χάους ἔχει σημαντικὲς ἐφαρμογὲς στὴν Κοσμολογία.

Ἡ θεωρία τοῦ χάους ἔχει ἐφαρμογὲς στὴν Ἀστρονομία, ἀπὸ τὸ Πλανητικὸ Σύστημα, μέχρι τοὺς Γαλαξίες καὶ τὸ Σύμπαν ὁλόκληρο, ἀλλὰ καὶ σὲ πολλοὺς ἄλλους κλάδους τῆς Φυσικῆς, π.χ. στὴ φυσικὴ τῶν μορίων, στὴ φυσικὴ τῶν στερεῶν, στὴ φυσικὴ τοῦ πλάσματος, στὴ φυσικὴ τῶν ἐπιταχυντῶν, στὴ Μετεωρολογία, στὴ Σεισμολογία, κλπ.

Στὰ θέματα τοῦ χάους ἐργάζονται πολλὲς ὁμάδες ἐρευνητῶν σ' ὅλον τὸν κόσμον (καὶ στὴν Ἑλλάδα). Εἶναι χαρακτηριστικὸ ὅτι στὰ συνέδρια χάους ποὺ ὁργανώνονται στὴν Ἑλλάδα συμμετέχουν πάνω ἀπὸ 100 ἐρευνητὲς κάθε χρόνο.

Δὲν μπορῶ νὰ κάνω ἐδῶ ἀναφορὰ στὶς ἐρευνες τοῦ χάους σὲ βιολογικὰ καὶ ἱατρικὰ θέματα. Σημειῶνω μόνον ὅτι ἐρευνῶνται πολλὰ θέματα ποὺ ἔχουν σχέση μετὰ τὸν ἀνθρώπινο ἐγκέφαλο καὶ γίνεται σοβαρὴ προσπάθεια γιὰ νὰ κατανοηθεῖ ἡ ἀνθρώπινη συνείδηση μετὰ βάση τὰ φαινόμενα τοῦ χάους.

#### 4. Ζωὴ στὸ Σύμπαν.

Ἔως τώρα δώσαμε ἰδιαίτερη ἔμφαση στὴν ἐξέλιξη τῆς Φυσικῆς σὲ θέματα ποὺ ἔχουν σχέση μετὰ τὴν ἀρχὴ τοῦ Σύμπαντος.

Ἦναι ὅμως καὶ μία ἄλλη πλευρά, πολὺ πιὸ κοντὰ μας, ποὺ πιθανὸν νὰ ἔχει τεράστια σημασία γιὰ τὸν Ἄνθρωπο. Εἶναι ἡ ἀναζήτησις ζωῆς στὸ Σύμπαν.

---

\*. Latifi, A., Musette, M. and Conte, R.: 1994, Phys. Lett. A 194, 83; Contopoulos G., Grammaticos, B. and Ramani, A.: 1995, J. Phys. A 28, 5313.



Ἡ πιὸ σημαντικὴ ἐξέλιξη στὸν τομέα αὐτὸ ἦταν ἡ πρόσφατη ἀνακάλυψη πολλῶν πλανητικῶν συστημάτων σὲ γειτονικούς μας ἀστέρες (πάνω ἀπὸ 10 μέχρι τῆς στιγμῆς).

Αὐτὴ ἡ ἀνακάλυψη σὲ συνδυασμὸ μὲ τὴν παρατήρηση πολὺπλοκων ὁργανικῶν μορίων στὸ διάστημα μᾶς κάνει νὰ ἐλπίζουμε ὅτι μπορεῖ νὰ παρατηρηθεῖ ζωὴ στὸ διάστημα.

Αὐτὸ ὅμως ποὺ κινεῖ ἰδιαίτερα τὸ ἐνδιαφέρον τῶν ἐπιστημόνων, ἀλλὰ πολὺ περισσότερο τοῦ εὐρύτερου κοινοῦ, εἶναι ἡ πιθανὴ ὑπαρξὴ λογικῶν ὄντων στὸ Σύμπαν. Τὸ πρόγραμμα SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) ἔχει κάνει μεγάλα βήματα τὰ τελευταῖα χρόνια. Ἀλλὰ μέχρι τώρα ὅλες οἱ προσπάθειες ἀναζητήσεως λογικῶν σημάτων ἀπὸ τὸ διάστημα ὑπῆρξαν ἀνεπιτυχεῖς. Ἡ ἔρευνα ὅμως συνεχίζεται. Ἡ Διεθνὴς Ἀστρονομικὴ Ἐνωση, ἡ ὁποία περιλαμβάνει οὐσιαστικὰ ὅλους τοὺς ἐπαγγελματίες ἀστρονόμους ὅλου τοῦ κόσμου (πάνω ἀπὸ 5.000) ἔχει δημιουργήσει μία εἰδικὴ Ἐπιτροπὴ γιὰ τὸ θέμα αὐτό. Μάλιστα πρῶτος πρόεδρος τῆς Ἐπιτροπῆς αὐτῆς ὑπῆρξε ὁ ἀείμνηστος καθηγητὴς Μ. Παπαγιάννης, ἀντεπιστέλλον μέλος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν.

Ἐνα βασικὸ ἐπιχείρημα ἐναντίον τῆς ὑπάρξεως ἐξωγήινης ζωῆς εἶναι τὸ ἐξῆς: Ἄν ὑπάρχουν πολλοὶ πολιτισμοὶ στὸ Σύμπαν, θὰ εἶναι ἐξαιρετικὰ ἀπίθανο νὰ ἔχουν ὅλοι τὴν ἴδια ἡλικία μὲ μᾶς. Πιθανότατα μερικοὶ ἀπὸ αὐτοὺς θὰ ἔχουν ἡλικία ἑκατομμυρίων ἢ δισεκατομμυρίων ἐτῶν. Τέτοιοι πολιτισμοὶ θὰ εἶχαν ἀναπτύξει τεχνολογία ἱκανὴ νὰ μεταφέρει ἀστροναῦτες στὸ διάστημα ποὺ θὰ δημιουργοῦσαν ἀποικίες σὲ ὅλο τὸ Γαλαξία. Ὁ χρόνος γιὰ ν' ἀποικήσουν ὁλόκληρο τὸ Γαλαξία εἶναι περίπου 1.000.000 ἔτη, δηλαδὴ πολὺ μικρὸς σὲ σχέση μὲ τὴν ἡλικία τοῦ Σύμπαντος.

Τότε γιατί οἱ ἐξωγήινοι αὐτοὶ δὲν ἔφθασαν στὴ γῆ; (Βεβαίως δὲν συζητῶ τίς ἀμφιβόλου ἀξιοπιστίας παρατηρήσεις τῶν UFO. Ἄν εἶχαν ἔλθει ἐδῶ ἐξωγήινοι, θὰ εἶχαν ἀφήσει πολὺ πιὸ σαφεῖ ἵχνη ἀπὸ κάτι πέτρες στὶς Ἀνδεις, ἢ κάτι λάμψεις στὴν ἔρημο τῆς Νεβάδας).

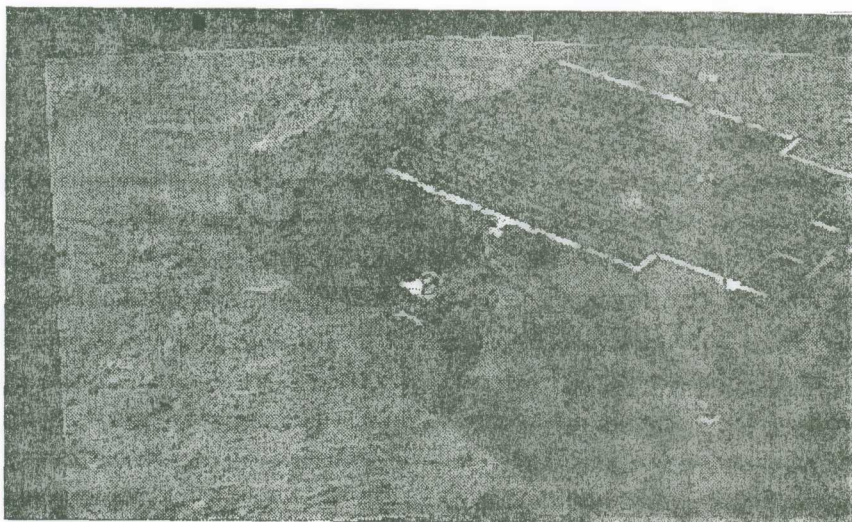
Ὑπάρχουν βέβαια πολλὲς πιθανὲς ἐξηγήσεις τῆς ἀνυπαρξίας ἱχνῶν ἀπὸ ἐξωγήνους, ἀλλὰ μία ἀπλὴ ἐξήγηση εἶναι ὅτι ἐξωγήινοι δὲν ὑπάρχουν.

Τὰ τελευταῖα χρόνια μιὰ ἄλλη ἀνακάλυψη ἔκαμε μεγάλο κρότο, κυρίως στὰ μέσα μαζικῆς ἐνημέρωσης. Ἦσαν οἱ μετεωρίτες ἀπὸ τὸν Ἄρη. Μερικοὶ ἰσχυρίσθησαν ὅτι βρῆκαν μέσα σ' αὐτοὺς μικροσκοπικὰ ἀπολιθώματα ποὺ προῆλθαν ἀπὸ μικροοργανισμούς τοῦ Ἄρεως. Ὅμως αὐτοὶ οἱ ἰσχυρισμοὶ δὲν ἔπεισαν τὴν ἐπιστημονικὴ κοινότητα, ποὺ εἶναι γενικὰ πολὺ ἐπιφυλακτικὴ στὸ θέμα αὐτό.

Ἐπενθυμίζω ὅτι οἱ πρῶτες παρατηρήσεις ποὺ μᾶς ἔστειλαν τὰ σκάφη ποὺ κατέβηκαν στὴν ἐπιφάνεια τοῦ Ἄρεως (οἱ Viking I καὶ II) ἔδειξαν ἔντονες χημικὲς ἀντι-

δράσεις μεταξύ τοῦ χρώματος τοῦ Ἄρεως καὶ τῆς γήϊνης ὀργανικῆς τροφῆς ποὺ μετέφεραν τὰ διαστημόπλοιά μας. Ὅμως γρήγορα διαπιστώθηκε ὅτι αὐτὲς οἱ ἀντιδράσεις δὲν ὀφείλονται σὲ μικροοργανισμούς, ἀλλὰ σὲ ἰονισμό τοῦ χρώματος τοῦ Ἄρεως ἀπὸ τὴν ἡλιακὴ ἀκτινοβολία.

Πρόσφατα ὁ Mars Pathfinder (σχ. 12) ποὺ μοιάζει μὲ ἓνα ἔξυπνο παιδικὸ αὐτοκινητάκι, ἔκανε πολλὰς διαδρομὲς στὴν ἐπιφάνεια τοῦ Ἄρεως. Ἀλλὰ πιὸ προηγ-



Σχ. 12. Τὸ ρομπὸτ Pathfinder στὸν Ἄρη.

μένα ρομπὸτ θ' ἀνιχνεύσουν μεγάλες περιοχὲς τοῦ πλανήτη αὐτοῦ, ποὺ εἶναι βέβαιο ὅτι εἶχε κάποτε νερὸ σὲ μεγάλη ποσότητα, ποὺ δημιούργησε ποταμούς καὶ canyons. Ἴσως στὶς κοίτες τῶν ποταμῶν ἢ στὶς περιοχὲς τῶν πολικῶν πάγων ὅπου ὑπάρχει νερὸ ἀκόμη καὶ σήμερα, νὰ εὕρεθοῦν ἱχνη ζωῆς.

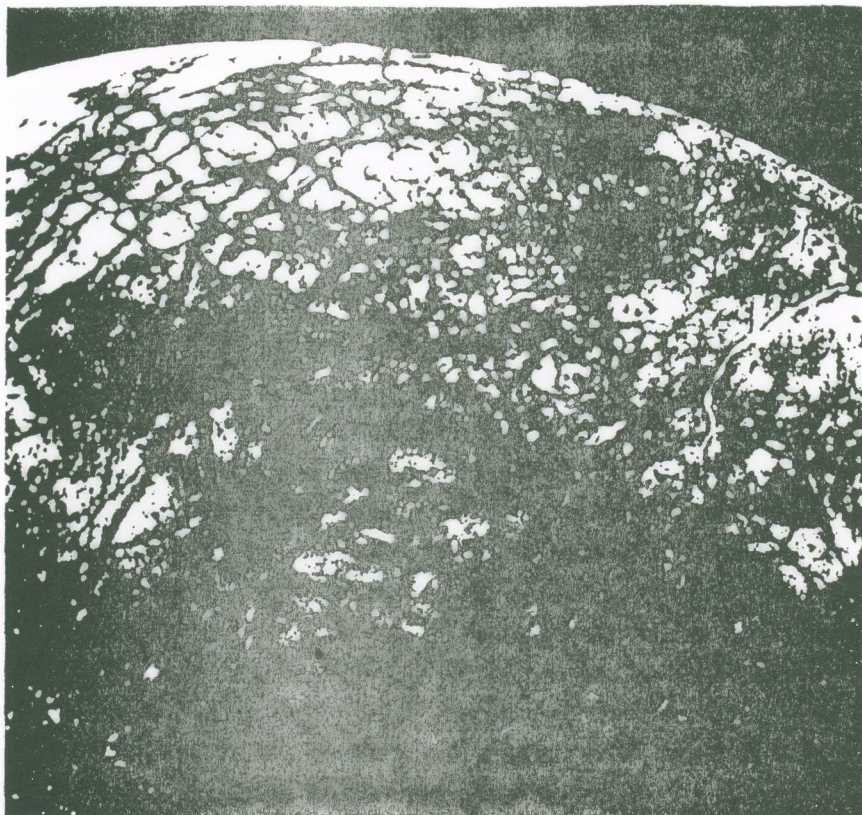
Νερὸ ὑπάρχει σὲ μεγάλη ποσότητα στὸ δορυφόρο τοῦ Διὸς ποὺ λέγεται Εὐρώπη. Ἡ ἐπιφάνεια τοῦ δορυφόρου αὐτοῦ εἶναι σκεπασμένη ἀπὸ πάγο (σχ. 13). Εἶναι πιθανὸ ὅτι κάτω ἀπὸ τὸν πάγο ὑπάρχει νερὸ σὲ ρευστὴ μορφή. Ἐπομένως ὁ δορυφόρος αὐτὸς παρουσιάζει συνθῆκες κατάλληλες γιὰ τὴν ἀνάπτυξη ζωῆς.

Τὸ θέμα ἔχει πολὺ μεγάλο ἐνδιαφέρον καὶ ἀσφαλῶς θὰ ἐξακολουθήσει νὰ μᾶς ἀπασχολεῖ καὶ τὶς ἐπόμενες δεκαετίες καὶ αἰῶνες.

Τὸ βασικὸ πρόβλημα εἶναι ἂν οἱ ἄνθρωποι εἴμαστε ἡ μόνη λογικὴ ζωὴ στὸ Σύμπαν. Τὸ πρόβλημα δὲν φαίνεται ὅτι μπορεῖ νὰ λυθεῖ ἂν δὲν γίνουν πολὺ περισσότερες παρατηρήσεις.



Γι' αὐτὸ οἱ ἔρευνες τῆς Ἀστροφυσικῆς θὰ συνεχισθοῦν ὄχι μόνον πρὸς τὴν κατεύθυνση τῆς κατανόησεως τῆς δομῆς καὶ τῆς ἐξελίξεως τοῦ ὕλικου Σύμπαντος, ἀλλὰ καὶ πρὸς τὴν πλευρὰ τῆς βιολογίας, γιὰ τὴν κατανόηση τῆς ζωῆς καὶ τῆς πιθανῆς ὑπάρξεως ζωῆς σὲ ἄλλους ἀστρικοὺς κόσμους.



Σχ. 13. Ὁ δορυφόρος Εὐρώπη τοῦ Διὸς εἶναι καλυμμένος ἀπὸ πάγο.