

## Η μεγάλη μάχη του Big-Bang

**Ο**ι αστρονόμοι προπορεύτηκαν και ακολούθησαν, βήμα-βήμα, την ανάπτυξη της σύγχρονης κοσμολογίας, οδηγούμενοι κυρίως απ' τις νέες παρατηρήσεις, που ήταν γι' αυτούς οι πιο σημαίνουσες. Εννοείται ότι θα επανέλθουμε στην έννοια της «σημασίας» μιας αξιοσημείωτης παρατήρησης. Ωστόσο, και αυτό θα είναι το κύριο σημείο της έκθεσής μας, οι προφανείς πρόοδοι των τεχνικών παρατήρησης έφεραν όλο και περισσότερο την κοσμολογία, η οποία συχνά αναφέρεται με το επίθετο «παρατηρησιακή», στην κατεύθυνση της σκέψης του Αριστοτέλη: πριν απ' όλα, σήμερα πρέπει να «σωθούν τα φαινόμενα» και να σωθούν ορθολογικά και αν υπάρξει μια διαμάχη προς αυτήν την προοπτική, θα αφορά μάλλον στην επιλογή των φαινομένων που κατά προτεραιότητα πρέπει να σωθούν.

### *Το στάσιμο σύμπαν*

Μπορούμε να πούμε ότι μετά τις φιλοσοφικές θεωρήσεις της εποχής του Descartes, του Kant ή του Laplace, ακόμα και πολύ πιο πίσω στην ιστορία των ιδεών, η κοσμολογία καθιερώθηκε χάρη στη χρησιμοποίηση πρώτα απ' τον Einstein, «εξισώσεων σύμπαντος», των εξισώσεων της Γενικής Σχετικότητας (ΓΣ). Δεν θα συζητήσουμε εδώ τη σύνθεση των εξισώσεων που θεμελιώνουν την νευτώνεια μηχανική και των εξισώσεων που επέβαλλαν οι νόμοι της σύνθεσης των ταχυτήτων και οι οποίοι είχαν οδηγήσει στη διατύπωση της Ειδικής Σχετικότητας.

Η κοσμολογία του Einstein όπως και αυτών που βάδισαν στα χνάρια του, είναι πρώτα ένα παιγνίδι λύσεων αυτών των εξισώσεων, τις οποίες θα ονομάζουμε «κλασικές».

---

Ο Jean Claude Pecker είναι Καθηγητής στο Collège de France, μέλος της Ακαδημίας Επιστημών της Γαλλίας και μέλος πολλών άλλων ακαδημιών. Η εργασία αυτή ανακοινώθηκε στο Διεθνές Συνέδριο που οργανώθηκε τον περασμένο Δεκέμβριο στην Αθήνα, προς τιμήν του Αχιλλέα Παπαπέτρου. Η Συντακτική Επιτροπή ευχαριστεί τον Καθηγητή Pecker για την παραχώρηση του κειμένου του στην ΟΥΤΟΠΙΑ.

Το αντικείμενο της συζήτησης δεν είναι συνελπώς σήμερα η ΓΣ. Είναι οι λύσεις και κυρίως οι υποθέσεις που έπρεπε να γίνουν για να βρεθούν αυτές οι λύσεις. Εννοείται ότι ο Einstein ήταν ο πρώτος που πρότεινε μια τέτοια λύση. Ωστόσο ο Einstein – και δεν πιστεύω ότι σπιλώνεις τη μνήμη του λέγοντάς το – παρέμεινε προσδεμένος σε ένα από τα αριστοτελικά παραδείγματα που δεν είχε καμιά σχέση με τα «φαινόμενα», ήταν ολοκληρωτικά μεταφυσικής υπόστασης – την αναγκαιότητα να βρεθεί μια *στάσιμη* λύση αντιπροσωπευτική, ενός αδημιούργητου αιώνιου, μόνιμου στην ολότητα του σύμπαντος.

Οι εξισώσεις της Γενικής Σχετικότητας, ήταν γραμμένες με κλασικό τρόπο και είναι ουσιαστικά «τοπικές». Εννοείται ότι διέπουν τη γεωμετρία του χωροχρονου. Παράγονται από τη γενική εξίσωση του Einstein, ανάλογη με τη εξίσωση του Poisson. Στις εξισώσεις υπεισέρχεται μία σταθερά, η  $\Lambda$ , η λεγόμενη «κοσμολογική σταθερά», καθώς και  $K$  μια σταθερά που συνδέεται με τη σταθερά του Carendish της βαρύτητας. Η κοσμολογική σταθερά θα μπορούσε εξ' αρχής να είχε τεθεί ίση με το μηδέν, αν ο Einstein δεν επέμενε στο μηδενισμό της συναλλοίωτης παραγώγου των δυναμικών της βαρύτητας.

Αυτό είναι πολύ γνωστό. Και μπορούμε να το εκφράσουμε λέγοντας ότι ο Einstein εισήγαγε την κοσμολογική σταθερά για να λάβει μία ειδική *στάσιμη* λύση... Η  $\Lambda$  αναλογεί σε έναν όρο κοσμικής άπωσης. Όσο μεγαλώνει η καμπυλότητα του χώρου, τόσο μικραίνει η  $\Lambda$ . Σε ένα επίπεδο σύμπαν, η κοσμολογική σταθερά μηδενίζεται – εφόσον επιζητούμε το Σύμπαν να είναι και *στάσιμο*.

Είναι γνωστό ότι η διαμάχη για την κοσμολογική σταθερά ήταν πολύ έντονη. Ο Einstein την εισήγαγε με τρόπο που μπορεί πράγματι να μοιάζει αυθαίρετος.

Μετά τις ανακαλύψεις που έκανε ο Hubble χάρις στο τηλεσκόπιο του όρους Wilson, ενώ ο ίδιος είχε άφθονα εκμεταλλευθεί τις ιδέες του Hipher, οι θεωρητικοί Lemaître και Friedmann θεώρησαν τόσο αυθαίρετη την εισαγωγή ενός νέου μεγέθους, ώστε το εξίσωσαν με το μηδέν, σε όλα τα σημεία, και για όλους τους χρόνους. Αυτή η απόφαση στηριζόταν επίσης, χωρίς καμία αμφιβολία, στη συχνά αναφερόμενη εργασία του Eddington, ο οποίος «αποδείκνυε» ότι το Σύμπαν του Einstein δεν ήταν σταθερό. Ας σημειώσουμε εν παρόδω ότι αυτή η απόδειξη δεν έχει διόλου νόημα, επειδή μία διαταραχή σε ένα ομογενές σύμπαν δεν μπορεί παρά να είναι συνολική, αναφερόμενη στην πυκνότητα της ύλης *οπουδήποτε*, και μία ορθή απόδειξη δεν μπορεί παρά να υποθέτει μία *τοπική* τροποποίηση της πυκνότητας η οποία θα αντισταθμιζόταν από μια τροποποίησή της σε αντίθετη κατεύθυνση, σε άλλα σημεία. Από όσο γνωρίζω, αυτή η απόδειξη δεν έχει γίνει.

Εξάλλου, ο Ζαχάρωφ έδωσε μία τοπική, φυσική ερμηνεία της  $\Lambda$ : την ερμήνευσε ως μια ποσότητα που μετράει την ενέργεια του κενού, και η οποία πράγματι θα αντιστεκόταν σε μία κατάρρευση και θα έπαιζε το ρόλο ενός όρου άπωσης σε κοσμική κλίμακα, όπως είπαμε.

### **Η κοσμολογική σταθερά και η αρχή της οικονομίας.**

Αν και αυτή η διαμάχη μπορεί να φαίνεται σήμερα ξεπερασμένη και ίσως εκτός θέματος.

Θα ήθελα να εμβαθύνω στο ζήτημα της εκμετάλλευσης, με τη μια ή την άλλη έννοια της αρχής της *απλότητας* ή *οικονομίας*.

Αυτή την έννοια την επικαλέσθηκε με ασαφείς όρους ο Friedmann, για να απαλλαγεί από την  $\Lambda$ , και αργότερα, για να δικαιολογήσει την ΚΜΕ, ή «κλασική μεγάλη έκρηξη». Συχνά αναφέρεται για την αποφυγή επιχειρημάτων που προκύπτουν από παρατηρήσεις οι οποίες κρίνονται μη σημαντικές.

Είναι ωστόσο μία σαφής αθώα έννοια; Από την πλευρά μου δεν το πιστεύω! Η αρχή της οικονομίας έχει πολλές όψεις.

Η μία, στην ουσία μεταφυσική, είναι αυτή που εκφράζεται από το περίφημο επιχείρημα του ξυραφιού του Ockham. Με λίγα λόγια, ο Ockham μας λέει, μέσα σε ένα *contexte* θεολογικής επιχειρηματολογίας, ότι δεν πρέπει να προσθέτουμε σε μια θεωρητική (ή θεολογική) επιχειρηματολογία περισσότερα επιχειρήματα απ' όσα είναι αυστηρά αναγκαία, δηλαδή ότι πρέπει απόλυτα να είσαι *οικονόμος* στη διατύπωση των υποθέσεων. Αυτή είναι μια θέση *μεταφυσικής* τάξης. Πράγματι, προδικάζει ότι το παρατηρήσιμο δεν θα μπορούσε να συνδέεται παρά μόνο με το κατανοήσιμο.

Οι βουλήσεις του Θεού είναι, με άλλα λόγια, διαφανείς.

Ωστόσο η αρχή της απλότητας έχει άλλες όψεις, αναμφίβολα λιγότερο λεπτές. Έτσι, η προσέγγιση πίεση = σταθερά και πυκνότητα ύλης = σταθερά στο σύμπαν-χρόνο συνδέεται αποκλειστικά μονάχα με *υπολογιστικές διευκολύνσεις* καθώς και με το συναίσθημα ότι στο σύμπαν οι μέσες ποσότητες μετρώνε περισσότερο από προφανείς διακυμάνσεις, των οποίων η θεώρηση θα επέβαλλε ωστόσο τη λύση δύσκολων προβλημάτων (πρόβλημα του Cauchy).

Υπάρχει επίσης μία τρίτη άρρητη όψη της αρχής της απλότητας, αυτή που οδηγεί στην *εξίσωση «σταθερών» με μηδέν ή με το άπειρο*, σταθερών για τις οποίες τίποτε δεν δικαιολογεί ή δεν φαίνεται να δικαιολογεί την εισαγωγή τους στους υπολογισμούς. Έτσι, για πολύ καιρό υπέθεταν ότι η διάδοση των αλληλεπιδράσεων από απόσταση είναι ακαριαία, ή ότι τα εργαστήρια είναι ήρεμα και ευκλείδια (η  $G$  εξισώνεται εκεί με το μηδέν, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα).

Η επιμονή να εξισωθεί η  $\Lambda$  με μηδέν, έχει ουσιαστικά ανάλογες αιτίες. Αλλά είναι αυτό ορθό; Και είναι εφαρμογή μιας οποιασδήποτε αρχής απλότητας; Δεν το πιστεύω καθόλου! Επειδή τελικά, η τιμή *μηδέν* που δίνεται σε κάποιο μέγεθος που θα θεωρούσαμε μετρήσιμο, είναι εκ των προτέρων μια *επιλογή, και μια επιλογή πολύ πιο περιοριστική απ' οποιαδήποτε άλλη*. Βεβαίως, η αρχή του Ockham αφορά περισσότερο στην εισαγωγή νέων εννοιών, παρά νέων παραμέτρων. Ωστόσο η διαφορά μου φαίνεται να είναι *μηδαμινή*. Και τελικά (ήταν αυτό τόσο μακριά απ' τις ιδέες του Ockham;) η πιο οικονομική θεωρία (σε έννοιες καθώς και

σε παραμέτρους) δεν είναι η καταφυγή στην εξήγηση κάθε φαινομένου από το Θεό; Ο Ockham ήταν βεβαίως πιο λεπτολόγος απ' όσο σήμαινε αυτή η εξήγηση... Ωστόσο αυτά συνέβαιναν εδώ και πολύ καιρό, πριν από την ανάπτυξη των πειραματικών επιστημών... Θα επανέλθω σ' αυτή τη σοβαρή αμφιβολία, μεταφυσικής φύσης, όταν θα αναφερθώ στη μάζα του φωτονίου.

### **Από την κλασική στη νέα μεγάλη έκρηξη**

Πάντως οι θεωρίες της Κλασικής Μεγάλης Έκρηξης (ΚΜΕ) διατυπώθηκαν με τη Φρηντμανική μορφή των εξισώσεων, χωρίς κοσμολογική σταθερά ή μάλλον με την εξίσωσή της με μηδέν. Αυτό μέχρι την αναπόφευκτη παρέμβαση γύρω στο 1981, των πληθωριστικών προτύπων τα οποία οδήγησαν σε μία νέα θεώρηση της Μεγάλης Έκρηξης, την πληθωριστική μεγάλη έκρηξη (ΠΜΕ).

Στις προηγούμενες δεκαετίες εξελίχθηκαν επίσης οι αντιλήψεις για τις φυσικές συνθήκες κατά τη στιγμή της  $ME \infty$  (ΚΜΕ ή ΠΜΕ) και περάσαμε από μία  $ME$  (Κ ή Δ) ή, αν θέλετε, από μια  $ME$  (για «άπειρη θερμοκρασία και πυκνότητα»), σε μία  $KBME$  (ΚΒ για «κβαντική»), στην οποία η στιγμή  $t = 0$  έχει χάσει οποιοδήποτε νόημα.

Οι αδυναμίες της ΚΜΕ ήταν πλέον φανερές. Αν στα χρόνια που ακολούθησαν την ανακάλυψη της ακτινοβολίας υπόβαθρου των  $2,75^{\circ}K$  (την οποία αρνούμαστε να ονομάσουμε εκ των προτέρων «Κοσμολογική!») η θεωρία υιοθετήθηκε και αναπτύχθηκε σε κλίμα ευφορίας, αυτό έγινε για άλλη μια φορά μέσα σε αφέλη ατμόσφαιρα: η φύση όφειλε να είναι «απλή» και να εξηγεί με ένα και το αυτό φαινόμενο, συμβατό με τις φρηντμάνιες εξισώσεις, τόσο την διαστολή (την οποία θα συνεχίζουμε – όπως ο Hubble! – να αποκαλούμε «φαινόμενη») του παρατηρήσιμου σύμπαντος των γαλαξιών, όσο και την ύπαρξη και τη θερμοκρασία της ακτινοβολίας υπόβαθρου, τη χημική σύσταση των πλησιέστερων αστερών, και των πλησιέστερων γαλαξιών. Τρεις ομάδες πολύ διαφορετικών δεδομένων, που ωστόσο φαινόταν να χωράνε σε ένα και μοναδικό πλαίσιο, το πλαίσιο μιας καλής σχετικιστικής θεωρίας, οιονεί κλασικής, και δίχως την άχρηστη κοσμολογική σταθερά.

Σήμερα, με τα σύγχρονα δεδομένα για τις αποστάσεις των γαλαξιών ή για τις ηλικίες των γνωστών αστρονομικών αντικειμένων, τι μπορούμε να πούμε για τα γεμάτα ευφορία συμπεράσματα της ΚΜΕ;

Θα αρκεστούμε σε ένα επιχείρημα για να δείξουμε ότι τουλάχιστον η υπόθεση  $\Lambda = 0$  δεν μπορεί να διατηρηθεί. Η «ηλικία Hubble», δηλαδή αυτή που συνάγεται από τις μετρήσεις της «σταθεράς του Hubble», κυμαίνεται μεταξύ 8 και 17 δισεκατομμύρια έτη, ανάλογα με το αν επιλέξουμε πιο μεγάλες τιμές της  $H$  τις οποίες προτείνουν διάφοροι, ιδιαίτερα ο de Vaucouleurs, ή πιο μικρές, τις οποίες υπερασπίζονται κυρίως οι Sandage και Tammann. Η αλήθεια βρίσκεται ί-

σως κάπου ανάμεσα – έχοντας υπόψη ότι μια λιγότερο ομογενής θεώρηση του Σύμπαντος μπορεί να αφαιρέσει κάθε νόημα απ' αυτήν την διαμάχη που παραμένει ωστόσο ζωνή. Δεν θα διατυπώσουμε εδώ την προσωπική μας προτίμηση για τις μεγάλες τιμές της  $H$ . Δεν έχει άλλωστε μεγάλη σημασία – κατά την άποψή μας.

Το σημαντικό είναι ότι η ηλικία των αστρικών σημών στο γαλαξία μας ξεπερνάει την ηλικία των 17 δισεκατομμυρίων ετών: εκτιμάται (για τα πιο παλιά) σε 18 ή 20 δισεκατομμύρια έτη. Βεβαίως η διαφορά δεν είναι μεγάλη. Αν όμως θυμηθούμε ότι η ηλικία Hubble, κατά το πρότυπο Friedmann είναι μία *μέγιστη* ηλικία, και ότι για να αυξηθεί θα έπρεπε να μετατοπίσουμε υπερβολικά τις τιμές των παραμέτρων, τότε φαίνεται καθαρά ότι η ηλικία των 18 ή 20 δισεκατομμυρίων ετών (καθώς άλλωστε και αυτή της Γης, 4,62 δισεκατομμύρια έτη!) πρέπει να θεωρείται μονάχα ως οριακή *ελάχιστη* ηλικία για το σύμπαν, και ότι το μοντέλο Friedmann της ΚΜΕ δεν είναι πλέον αποδεκτό σε καμιά περίπτωση. Πρέπει τότε να επαναφέρουμε μία κοσμολογική σταθερά  $\Lambda$  μη μηδενική!

Αν μου επιτρέπεται μία παρατήρηση λίγο εκτός θέματος, θα ήθελα να σημειώσω ότι ειπώθηκε συχνά για τον Einstein ότι είχε δεχθεί πως η εισαγωγή της  $\Lambda$  ήταν η μεγαλύτερη αβλεψία της καριέρας του! Αυτό δεν είναι σωστό. Μία επιστροφή στις πηγές ήταν αναγκαία. Έγινε, και έδειξε ότι ο Einstein το πολύ έθεσε στον εαυτό του το ερώτημα. Ωστόσο ποτέ δεν παραδέχτηκε με τόσον εμφαιτικό, ακόμα και μελοδραματικό τρόπο, ότι είχε θεμελιακά κάνει λάθος σ' αυτό το σημείο. Ιδού τι γράφει σε ένα άρθρο γραμμένο με τον De Sitter: «it now appears that in the dynamical case this end [i.e. the existence of a finite mean density in a static universe] can be reached without the introduction of  $\Lambda$ ».

Πρέπει, με την ίδια λογική, να διατηρήσουμε στα μοντέλα την ιερή «κοσμολογική αρχή» που επιβάλλει μια τέλεια *ομοιογένεια* και μια αυστηρή *ισοτροπία*;

Ανεξάρτητα από οποιαδήποτε λεπτομερειακή θεώρηση της κατανομής των μαζών σε ένα σύμπαν του οποίου η μετρική θα ήταν τότε, απαραίτητα, συνάρτηση του τόπου, η εισαγωγή μιας πυκνότητας  $\rho(t, M)$  θα έπρεπε να είναι μια προφανής προτεραιότητα. Είναι γνωστό ότι ο ρυθμός διαστολής του Σύμπαντος εξαρτάται από την πυκνότητά του. Αν η πυκνότητα εξαρτάται απ' τον τόπο και το χρόνο, τότε και ο ρυθμός διαστολής πρέπει να εξαρτάται απ' τον τόπο και το χρόνο. Η ίδια η έννοια «σταθερά του Hubble» γίνεται τότε ολότελα ξεπερασμένη. Ακόμα και αν αποδώσουμε στις μετρήσεις της έννοιας «πραγματικού» ρυθμού, διαστολής, αυτή η διαστολή γίνεται με μεταβαλλόμενο ρυθμό από το ένα σημείο στο άλλο. Υποθέτοντας μια σφαιρική κατανομή της πυκνότητας μπορούμε, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις της Γενικής Σχετικότητας, να αποδείξουμε ότι η  $\Lambda$  πρέπει να είναι επίσης συνάρτηση του σημείου. Ο υπολογισμός [Σχήμα 1], έγινε πρόσφατα (Narlikar, Pecker, Vigier) και δείχνει μια σημαντική μεταβολή της  $\Lambda$  σε απλές περιπτώσεις. Εξάλλου, ο Peebles επίσης απέδειξε πρόσφατα, ότι η  $\Lambda$  μπορεί να είναι συνάρτηση του χρόνου.

Αν δεν κάνω λάθος, δεν μου φαίνεται ότι κάποιος έχει επιχειρήσει τη γενική λύση των εξισώσεων. Αν επιβάλουμε μια εξίσωση συνέχειας, και κάνουμε ένα είδος ποιοτικού συλλογισμού για τον τοπικό ρυθμό, διαστολής, τότε το αποτέλεσμα θα μπορούσε να μοιάζει με αυτό του σχήματος 2, το οποίο αντιστοιχεί, φυσικά πολύ χοντρικά, στην περίπτωση μιας ιεραρχημένης κατανομής της πυκνότητας της ύλης.

Πρέπει να παρατηρήσω εδώ ότι, απ' όσο γνωρίζω, ακόμα και οι σύγχρονες εκδοχές της ΜΕ θεμελιώνονται σε μαθηματικές αναλύσεις όπου η πυκνότητα είναι σταθερή και μοναδική, ενώ αυτές οι εκδοχές υποτίθεται ότι ανταποκρίνονται στην ανάγκη να εξηγηθούν οι τεράστιες παρατηρούμενες ανομοιογένειες!

### **Οι σημαίνουσες παρατηρήσεις**

Προτού μιλήσουμε ωστόσο λίγο περισσότερο γι' αυτή τη σύγχρονη ΜΕ, θα έπρεπε ίσως να ανακεφαλαιώσω τις παρατηρήσεις.

Δεν είναι τόσο ξεκάθαρες και οριστικές, όσο καμιά φορά φαίνονται.

Πρωτ' απ' όλα, τα τρία θεμελιακά «δεδομένα» της ΚΜΕ (φαινόμενη διαστολή, ακτινοβολία του βάθους του ουρανού και τοπική χημική σύσταση) δεν έχουν ίσως την ουσιαστική σημασία που τους δόθηκε. Εξεταζόμενα χωριστά, δεν συνηγορούν απαραίτητα για τη θεωρία της ΚΜΕ Η παρατηρούμενη διαστολή (για την οποία καλοί επιστήμονες όπως ο Segal ακόμα σκέφτονται, με τη βοήθεια στατιστικών αποδείξεων, ότι είναι περισσότερο τετραγωνική παρά γραμμική) γίνεται με ένα καλά ορισμένο ρυθμό; Ανάφερα το δεύτερο παράγοντα απροσδιοριστίας. Πρόκειται ωστόσο για παράγοντα απροσδιοριστίας ή μάλλον για διαφορά ανάμεσα σε διαστολές λίγο ή πολύ τοπικές, όπως το είχαμε υποδείξει, ο Vigier και εγώ, σχεδόν είκοσι χρόνια τώρα; (σχήμα 3). Μπορεί να στηριχθεί μια θεωρία σύμπαντος πάνω σε μία παρατήρηση της οποίας ο τοπικός χαρακτήρας φαίνεται τότε αν όχι προφανής – τουλάχιστον παραδεκτός; Η ακτινοβολία του βάθους του ουρανού δεν είναι πιο καθαρή περίπτωση, ό,τι κι αν έχει ειπωθεί μετά από τις εργασίες του Weinberg ή του Hawking. Πράγματι, η επιστημονική τάξη εξακολουθεί να αγνοεί με μια υψηλή περιφρόνηση την πρόταση που είχε γίνει κάποτε από τον Finlay-Freundlich, η οποία υποστηρίχθηκε από τον Max Born και η οποία απέδιδε την ακτινοβολία υπόβαθρου στις ιδιότητες του φωτονίου – και υπολόγιζε γι' αυτήν την ακτινοβολία μια σαφώς καλύτερη τιμή απ' αυτή που έδινε το Gamow την ίδια περίοδο, το 1954 – 10 χρόνια πριν την ανακάλυψη των Penzia και Wilson (βλέπε παρακάτω)! Όσο για τη χημική σύσταση, δεν την γνωρίζουμε ουσιαστικά παρά μόνο για κάποιους κοιντούς γαλαξίες όπως ο δικός μας: η σημασία της εξέλιξης των γαλαξιών κατά τη στιγμή της δημιουργίας τους, που σήμερα είναι σχεδόν άγνωστη, και εξάλλου, τα φαινόμενα μεταφοράς που μπορούν να εμπλουτίσουν ένα γαλαξία σε ή-

λιο, ανεξάρτητα από την πυρηνική καύση του υδρογόνου, κάνουν αυτό το ζήτημα, ένα μείζον ζήτημα αμφισβήτησης.

Το πιο σημαντικό πειραματικό δεδομένο φαίνεται ίσως να μην είναι κανένα από αυτά τα τρία, όπως πολλές φορές το υπογραμμίσαμε.

Είναι η πολύ ανώμαλη κατανομή των γαλαξιών στο Σύμπαν. Μία κατανομή έντονα ανομοιογενής και ανισότροπη και μάλιστα *ιεραρχημένη!* Μπορούμε να αποκτήσουμε μια ιδέα του βαθμού ομοιογένειας συγκρίνοντας τις πυκνότητες των  $10^{13} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  γνωστές στους αστέρες νετρονίων, με τις πυκνότητες της τάξης των  $10^{-29} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  που συναντιούνται στο μεσογαλαξιακό χώρο.

Βέβαια πρόκειται για έναν κόσμο ακόμα κοντινό, πολύ κοντινό μάλιστα, εφόσον μία παραδεκτή μέτρηση της απόστασης, η φασματική μετατόπιση  $Z$ , φτάνει μετά βίας 4 για γαλαξίες μάλλον πιο λαμπρούς, ενδογενώς, από το μέσο όρο. (Σημειώστε ότι δεν αναφέρω καν τη λέξη κβάζαρ!). Ωστόσο, οι υποστηρικτές της ΜΕ εκτιμούν ότι η ακτινοβολία υπόβαθρου είναι κοσμολογικής προέλευσης, και ότι αντιπροσωπεύει την κατάσταση του ουρανού σε ένα  $Z$  κοντινό του  $10^3$ - $10^4$ : τα πρώτα αποτελέσματα του COBE, χιλιοστομετρικού δορυφόρου, έφεραν στο φως την οιονεί ανισοτροπία αυτής της ακτινοβολίας, που επηρεάζεται μόνον απ' την κίνηση του Ηλίου σε σχέση (πράγματι: σε σχέση με τι; με ποιο απόλυτο σύστημα αναφοράς;), και από διαταραχές πλάτους της τάξης των 30  $\mu\text{K}$ . Πώς να καλυφθεί αυτό το «κενό» ανάμεσα σε τόσο διαφορετικά  $Z$ ; Επιπλέον, πώς να εισαγάγουμε σ' αυτή την περιγραφή την ιεραρχημένη και κυτταρική κατανομή των γαλαξιών του εξερευνημένου σύμπαντος μέχρι το  $Z = 3$  ή 4; Πολύ περισσότερο και από τις δυσκολίες που συνδέονται με την άπειρη τιμή της θερμοκρασίας  $T_0$  και της πυκνότητας  $P$  στο χρόνο «μηδέν», είναι τα προβλήματα αυτά που κατεύθησαν τους ερευνητές προς το λεγόμενο «πληθωριστικό» σύμπαν.

Από μια άλλη πλευρά, οι ανακαλύψεις από τους Agr, Tifft και πολλούς άλλους αστρονόμους (αμφισβητούμενες από πολλούς παρατηρητές) «αφύσικων» μετατοπίσεων από τη μία, «κβαντομένων» μετατοπίσεων από την άλλη, οδήγησαν σε κοσμολογίες χωρίς διαστολή, όπου η ερμηνεία των φασματικών μετατοπίσεων δεν συνδέεται με την απομάκρυνση των γαλαξιών, αλλά με τις θεμελιακές ιδιότητες των φωτονίων τα οποία αλληλεπιδρούν με το μέσον που διασχίζουν ανάμεσα στον γαλαξία-πηγή και στο τηλεσκόπιο. Θα επανέλθουμε σ' αυτό το θέμα.

### ***Η ΚΒΜΕ, τελευταία μεταμόρφωση μιας ΜΕ χωρίς δημιουργία***

Ας επιστρέψουμε τώρα στα μοντέλα. Οι κλασικές καθώς και οι σύγχρονες μορφές της ΜΕ συνεπάγονται στο «χρόνο»  $t = 0$  (ή σημαίνει τότε η έννοια «χρόνος»;) άπειρη θερμοκρασία και πυκνότητα. Έτσι παλαιότερα (1951), φάνηκε δελεαστικό στις φιλοσοφίες της δημιουργίας (ιδιαίτερα στη Ρωμαϊκή Εκκλησία) να

ταυτίσουν το «εγένετο φως» («fiat lux») και τη «Μεγάλη Έκρηξη», και να δουν στη (σημειακή) «καταγωγή» της μεγάλης έκρηξης την ίδια την πράξη της δημιουργίας.

Πρέπει ιδιαίτερα να αναφέρουμε εδώ μία σημαντική δικαιολόγηση αυτής της άποψης: το θεώρημα των Penrose και Hawking έδειχνε πράγματι ότι οποιοδήποτε σύμπαν που υπάγεται στους νόμους της Γενικής Σχετικότητας και περιέχει ύλη – όπως αυτό που παρατηρούμε –, δηλαδή οποιοδήποτε σύμπαν κατά Friedman, όφειλε να είχε περάσει κάποτε από μια κατάσταση άπειρης πυκνότητας. Περιττεύει να πούμε ότι αυτό το θεώρημα είχε μεγάλη επιτυχία και επιβεβαίωση το βάσιμο μιας μεταφυσικής χροιάς την οποία ορισμένοι φυσικοί θεωρούσαν ορθή, και που μάλιστα πολύ φιλόσοφοι εύχονταν!

Είδαμε ότι αυτή η εισβολή της μεταφυσικής στην κοσμολογία δεν είναι η μόνη. Αναφέραμε την αντίθετη περίπτωση του στάσιμου αδημιούργητου σύμπαντος και αυτήν της αρχής της οικονομίας της φύσης.

Η αρχική ανωμαλία σόκαρε ωστόσο πιο εύκολα πολλούς αστρονόμους. Οι πιο κλασικοί υπερασπιστές της κλασικής μεγάλης έκρηξης, όπως ο Weinberg, ο Hawking ή ο Reeves, τροποποίησαν την άποψή τους. Δέχονται τώρα την ιδέα ότι σε ένα χρόνο που αντιστοιχεί σε  $t = 10^{-43}$  στην σχετικιστική χρονική κλίμακα – αυτή που ταιριάζει στη φυσική και στην αστρονομία εδώ και κάποιους αιώνες ή χιλιετίες – η φύση του κοσμικού μέσου μεταβλήθηκε. Αυτή η στιγμή αντιστοιχεί στις κοσμολογίες τύπου ME στον  $t = 10^{-43}$  δευτερόλεπτα, και στην εξέλιξη από ένα σύμπαν «ενέργειας» σε ένα σύμπαν σωματίων και ακτινοβολίας, κατανοητό, αν μπορούμε να λεχθεί έτσι χάρη στη σύγχρονη κλασική φυσική των μικροσωμάτων. Ποια είναι λοιπόν η περιγραφή αυτού του ενεργειακού σύμπαντος;

Ποια είναι, έστω και σ' αυτό το σύμπαν, η αντίληψη του «χρόνου»;

Ο χρόνος  $t = 10^{-43}$  δευτερόλεπτα είναι αυτός που ονομάζουμε «χρόνο Planck». Κάποιοι (Silk) τον ονομάζουν «χρόνο της δημιουργίας».

Είναι προφανώς λεκτική υπερβολή, στην οποία δεν είναι ανάγκη να αναφερθούμε υπερβολικά. Όπως ο Narlikar και άλλοι ερευνητές, θα μιλάμε για «κβαντική περίοδο» της ζωής του Σύμπαντος. Αυτή είναι σήμερα η άποψη του Reeves ή του Hawking. Αναμφίβολα δεν έχουμε επιμείνει αρκετά σ' αυτή την βαθιά εξέλιξη των απόψεων, στην αρχή της δεκαετίας του 1980. Μέχρι τότε, η ιδέα μιας δημιουργίας, ακόμα και ενός Θεού δημιουργού, βρισκόταν ακόμα μέσα στα πνεύματα. Ωστόσο οι βίαιες κριτικές της αντι-ME ομάδας οδήγησαν σε μια νέα ΚΒΜΕ χωρίς μεταφυσικές συνέπειες. Θα έπρεπε βέβαια να κατανοηθεί αυτή η κβαντική φάση, προηγούμενη της «πληθωριστικής» περιόδου, της οποίας οι πιο λεπτές λεπτομέρειες έχουν πολύ λίγο περιγραφεί.



### Διαδοχικές φάσεις της ΚΒΜΕ

Αν θεωρήσουμε την ΚΒΜΕ, με τη μορφή που φαίνεται παραδεκτή, βλέπουμε ότι αποσυντίθεται σε πολλές φάσεις. Στην αρχή – και δεν θα αναφέρουμε χρονική κλίμακα παρά μόνον ενδεικτικά, γιατί ποιο είναι το πραγματικό της νόημα; – ένας κβαντικός χώρος, πολύ πυκνός, με τοπικές καμπυλότητες πολύ μικρής κλίμακας (περίπου  $10^{-33}$  cm!!). Η φυσική συνεπάγεται μία παράξενη τοπολογία, μία περίπλοκη γεωμετρία... Γι' αυτά δεν έχουμε παρά μόνον πολύ συγκεχυμένες ιδέες: ποιες είναι οι διαστάσεις του χώρου; θεωρίες υπερχορδών; μεγάλη ενοποίηση;... Η προσωπική μου εντύπωση είναι ότι η κατάσταση δεν άλλαξε πολύ σε 10 χρόνια, και ότι για άλλη μια φορά βρισκόμαστε – όπως στον Τίμαιο του Πλάτωνα, όπως στον Kepler, όπως σε πολλούς άλλους κοσμολόγους – μπροστά σε έναν νεο-πυθαγόρειο πειρασμό του οποίου το πνεύμα είναι ότι η ομορφιά, η συνεκτικότητα, η ανταπόκριση στη θεωρία ομάδων, αντικαθιστούν με πλεονεκτικό τρόπο τα «φαινόμενα» τα οποία δεν ξέρουμε να παρατηρήσουμε (και όχι χωρίς λόγο).

Μετά απ' αυτή τη μυστηριώδη κβαντική φάση, έρχεται η εμφάνιση των σωματιών, πρωτονίων και αντιπρωτονίων, και η συνέχεια όπως περιγράφεται πάνω-κάτω από την κλασική ΜΕ. Ωστόσο γύρω στον  $t = 1^{-35}$  εμφανίζεται ίσως ένα νέο φαινόμενο: ο πληθωρισμός, φάση εξαιρετικά γρήγορης επέκτασης που διαρκεί λίγο, αλλά στην διάρκεια της οποίας αυξάνει σημαντικά ο ορίζοντας του παρατηρήσιμου σύμπαντος. Αυτή η φάση διαστολής επιβάλλεται από μια σχεδόν προφανή διαπίστωση. Σε μία δεδομένη στιγμή της ζωής του σύμπαντος, ο ορίζοντας είναι το όριο το προσιτό στις παρατηρήσεις. Ωστόσο η ΚΜΕ δεν εξηγεί, απ' αυτή την άποψη τις παρατηρήσεις. Αυτό το δεδομένο που είναι σήμερα πολύ γνωστό στους κοσμολόγους μπορεί να εξηγηθεί αν σχεδιάσουμε σε τρεις διαστάσεις (2 χώρους 1 χρόνου) αυτό που ονομάζουμε κώνο φωτός του παρελθόντος. Δεδομένης της πεπερασμένης ταχύτητας του φωτός, αυτός ο κώνος έχει πεπερασμένο άνοιγμα: στο εσωτερικό, τα παρατηρήσιμα αντικείμενα, όπως ήταν στον χρόνο  $t$ , όταν ο τωρινός χρόνος είναι  $t_0$  (άρα ο  $t < t_0$  αντιπροσωπεύει το «παρελθόν»).

Τα αντικείμενα έξω απ' τον κώνο δεν είναι παρατηρήσιμα, και δεν έχουν συνεπώς καμία επιρροή στα εσωτερικά αντικείμενα του κώνου. Η ισχυρή ανισοτροπία, η σημαντική ανομοιογένεια του γνωστού σύμπαντος, δεν αντίκεινται σ' αυτό. Ας διαλέξουμε απεναντίας ένα σημείο κοντινό στο τέλος της κβαντικής φάσης: ο ορίζοντάς του είναι περιορισμένος. Συνεπώς, δύο διαμετρικά αντίθετα σημεία του ουρανού, τοποθετημένα κοντά σ' αυτόν τον χρόνο Planck, έχουν κατ' αρχήν περιορισμένους ορίζοντες (στο χρόνο  $t = 0$  της ΚΜΕ). Αυτοί οι ορίζοντες δεν τέμνονται. Δεν υπάρχει κανένας λόγος για να είναι ίδιες οι ιδιότητές τους, τις οποίες παρατηρούμε σήμερα. Όμως είναι! Η ακτινοβολία 3 βαθμών Kelvin (δημιουργημένη σύμφωνα με την κλασική ΜΕ γύρω στα 10.000 έτη μετά τον χρόνο

Planck) είναι ουσιαστικά ισότροπη – πράγμα που δύσκολα συμφιλιώνεται με αυτήν την περιγραφή των οριζόντων... Πρέπει συνεπώς να δεχτούμε ότι οι οριζόντες των σημείων αυτής της μακρινής εποχής δεν συμπεριφέρονται ανεξάρτητα οι μὲν απ' τους δε, ότι η περιγραφή που δίνει η ΚΜΕ είναι ανακριβής, και ότι η ΠΜΕ είναι αναγκαιότητα.

Η πληθωριστική περίοδος είναι λοιπόν μία σχεδόν εκρηκτική περίοδος. Οι εξισώσεις που διέπουν αυτήν την περίοδο πρέπει να είναι οι εξισώσεις του Einstein, ωστόσο η μετρική δεν είναι η ίδια και δεν αντιστοιχεί σε ένα ομοιόμορφο μέσον. Πρέπει να παραδεχτούμε ότι ανάμεσα στο κβαντικό σύμπαν και στην πληθωριστική περίοδο διαστολής, έστω και αν δεν σχηματίστηκαν γαλαξίες, είχαμε σίγουρα ανωμαλίες ύλης, οι οποίες δημιούργησαν μια πολύ περίπλοκη δομή του χώρου, που επέβαλλε μια «μετάβαση φάσης» ανάμεσα σε διαφορετικές φάσεις της ζωής του Σύμπαντος. Η ΠΜΕ εξηγεί καλά γιατί το βάθος του ουρανού μπορεί να είναι ισότροπο. Χωρίς να θέλουμε εδώ να εισέλθουμε στις λεπτομέρειες αυτής της πληθωριστικής φάσης στην οποία επεμβαίνουν έννοιες προερχόμενες από τη θεωρία της μεγάλης ενοποίησης, και ιδιαίτερα από τα πεδία Higgs τα οποία διέπουν τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε σωματίδια πολύ υψηλών ενεργειών, μπορούμε να πούμε, κατά κάποιον τρόπο, ότι με αρχή ένα ακανόνιστο μέσον όπου οι δυνάμεις είναι ολότελα ενοποιημένες, μια ψύξη έχει σαν αποτέλεσμα μια «μετάβαση φάσης» η οποία σπάει την ενοποίηση.

Για να πω την αλήθεια δυσκολεύομαι να βγάλω άκρη απ' αυτήν την θεωρία η οποία εισάγει μια λεπτή χρήση των ομάδων: μία πολύ περίπλοκη μικροσκοπική γεωμετρία θα συνοδευόταν ασφαλώς από μία πολύ μεγάλη ισοτροπία και ομοιογένεια σε μεγαλύτερη κλίμακα. Αυτό είναι αρκετά δύσκολο να το φανταστεί ή να το εξηγήσει κανείς, και θα περιοριστώ, λόγω έλλειψης ικανότητας να παραπέμψω τον αναγνώστη στην κλασική βιβλιογραφία.

### ***Εναλλακτικές κοσμολογίες***

Ωστόσο παραμένει μια τεράστια δυσκολία στην ΚΜΕ καθώς και στην ΠΜΕ, ακόμα και με όρους ΚΒΜΕ, η οποία επεμβαίνει σε μια όψιμη εποχή των μοντέλων. Παρ' όλες τις προσπάθειες αριθμητικής προσομοίωσης που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, φάνηκε αδύνατον να περιγραφεί ο σχηματισμός των γαλαξιών σε αυτές τις ταυτόχρονα ιεραρχημένες και κντταρικές γεωμετρίες, με μορφή νημάτων, και κρεπών («pancakes») που παρατηρούνται.

Προς το παρόν έχουν προταθεί επιμέρους διαδικασίες σχηματισμού.

Ασκούμε κριτική για διάφορους λόγους στα διάφορα σενάρια της μεγάλης έκρηξης. Έχουμε όμως να προτείνουμε αντίθετες κοσμολογίες:

1. Κατ' αρχήν, παραμένοντας σε ένα πλαίσιο κλασικής γενικής σχετικότητας και της τωρινής διαστολής του παρατηρήσιμου σύμπαντος, πρέπει ίσως να

θεωρήσουμε άλλα μοντέλα... Ακόμα και αν διατηρήσουμε την υπόθεση (την λεγόμενη κοσμολογική «αρχή», γιατί άραγε;) της σταθερής πυκνότητας (η οποία εισήχθη σε έναν χρόνο όπου ήδη δεν θα έπρεπε να είχαμε ξευρίσει την αλήθεια των γεγονότων με το ξυράφι του Ockham!), είναι απόλυτα εφικτό να επανέλθουμε σε ένα σύμπαν de Sitter ή στη συνεχή δημιουργία των Hoyle και Bondi σε ένα σχεδόν ομοιόμορφο σύμπαν.

Έχουμε ήδη πει τι πρέπει να σκεφτεί κανείς για τη λανθασμένη συζήτηση της αστάθειας, με σταθερή πυκνότητα του σύμπαντος του Einstein, η οποία δόθηκε «αποδείχτηκε» από τον Eddington.

Μπορούμε να εισάγουμε μια πυκνότητα  $\rho(x, y, z, t)$ . Αν ο ρυθμός διαστολής εξαρτάται από την πυκνότητα, από την τοπική καμπυλότητα του χώρου, τότε μπορούμε να φανταστούμε πιο γρήγορες συστολές και διαστολές σε κάποιες περιοχές, και μια συμπεριφορά κατά κάποιον τρόπο παλλόμενη, αλλά με πολύ ακανόνιστο τρόπο, επειδή στις τοπικές εξισώσεις πρέπει να προστεθούν οι εξισώσεις συνέχειας. Θα αρνηθώ να προσπαθήσω να θέσω αυτά τα ερωτήματα με μορφή καθαρά διατυπωμένων εξισώσεων. Ωστόσο, όπως το είδαμε, μου φαίνεται δυνατό να χαράξουμε ένα διάγραμμα που θα αντιπροσωπεύει συναρτήσει του χρόνου, την απόσταση δυο υλικών σημείων σε τέτοιες συνθήκες. Τουλάχιστον ένα τέτοιο διάγραμμα μπορεί να δώσει μια κάποια ιδέα αυτού που δεν είναι ανέφικτο – ούτε συμβατό με την ερμηνεία της φασματικής μετατόπισης ως συνέπειας της τοπικής επέκτασης χώρου ούτε ακόμα ασύμβατο (αλλά αυτό μένει να αποδειχθεί!) με τις εξισώσεις της σχετικιστικής μηχανικής. Το αναφέραμε ήδη παραπάνω (σχήμα 2) και δεν μπορούμε να πούμε τίποτα περισσότερο!

2. Μπορούμε ωστόσο να βγούμε από το πλαίσιο της Γενικής Σχετικότητας; Δεδομένων των «αποδείξεων» της Γ.Σ., θα έπρεπε να εισαχθεί μια θεωρία που θα περιλάμβανε τη Γενική Σχετικότητα, η τελευταία θα φαινόταν ως ιδιαίτερη περίπτωση της. Αυτός ήταν ο σκοπός της θεωρίας Brans-Dicke που εισήγαγε μία συμπληρωματική παράμετρο  $\omega$ , και περιλάμβανε την ΓΣ ως ιδιαίτερη περίπτωση. Αναγκαστικά η θεωρία αυτή, απορρίφτηκε, επειδή δεν μπορούσε να εξηγήσει γιατί ο ηλιακός δίσκος είναι πολύ λιγότερο πεπλατυσμένος, απ' ό,τι παράβλεπε η θεωρία, ίσως επίσης λόγω ανεπαρκούς δικαιολόγησης του όρου  $\omega$ . Μα πρέπει να κατηγορηθούν οι Brans και Dicke και το  $\omega$  τους, όπως κατηγορήθηκε το  $\Lambda$  του Einstein; Αν το θέμα δεν ήταν παρά μόνο η λύση εξισώσεων, ίσως δεν θα έπρεπε να απορριφθούν τα μοντέλα των Brans-Dicke!

Συμπληρωματικά, η θεωρία της *συνεχούς δημιουργίας*, συμβατή και με τη διαστολή και με την στασιμότητα, είναι ένα ενδιαφέρον στοιχείο των Hoyle, Gold και Bondi, ένα στοιχείο που πρέπει μάλλον να το θυμόμαστε, – δεχόμενοι ωστόσο ότι και εδώ η μεταφυσική εισβολή είναι πολύ μεγάλη... Επειδή συνεχώς η αρχική δημιουργία..., αυτό παραμένει μια καθαρά μεταφυσική ιδέα που προστίθεται σ' αυτήν της αξιωματικά τιθέμενης στασιμότητας.

3. Η άρνηση αυτής καθ' αυτής της διαστολής αποτελεί μια πιο ριζοσπαστι-

κή θέση. Έτσι, δύο ή τρεις ιδέες-κλειδιά οδήγησαν σε πρωτότυπους τύπους κοσμολογίας.

Στην πρώτη γραμμή, η κοσμολογία του Segal. Ο Segal εισάγει μία θεωρία, την *χρονογεωμετρία*, όπου η μετατόπιση προς το ερυθρό προέρχεται ουσιαστικά από τη διευρυνόμενη απόκλιση ανάμεσα στον πραγματικό χώρο και τον εφαιπτόμενο Μικκόβσκειο, όπου ορίζεται ο «χρόνος» – ο δικός μας.

Έπειτα η θεωρία που κάποτε αναπτύχθηκε από τον Dirac, ξαναδουλεύτηκε από τον Caputo και τον Hsieh εδώ και δέκα χρόνια, και η οποία υποθέτει μια *χρονική μεταβολή των «σταθερών»*, ιδιαίτερα της  $G$ , σταθεράς του Gavrendish.

Τέλος η θεωρία που αναπτύχθηκε από τον Vigier και εμένα με πολλούς συνεργάτες από το 1972, με διαδοχικές μορφές, και η οποία επικαλείται την ύπαρξη *μη-μηδενικής μάζας του φωτονίου*. Εξαιτίας αυτού, το φωτόνιο κατά τη διαδρομή του, θα είχε μια μη-αμελητέα αλληλεπίδραση. Θα έχανε ενέργεια στη διάρκεια αυτής της διαδρομής σε ένα μη-κένον κενό, αν μπορώ να πω – έναν αιθέρα του Dirac – απ' όπου ταυτόχρονα η φασματική μετατόπιση και (ίσως) η ακτινοβολία υπόβαθρου. Μας φέρανε ισχυρές αντιρήσεις, επειδή η «μη-μηδενική μάζα» δεν είχε αποδειχθεί από κανένα άλλο παρατηρησιακό δεδομένο. Αλλά το να μηδενίζεις αυτή τη μάζα δεν είναι μια άτοπη εφαρμογή της αρχής της οικονομίας: Αυτό είναι περισσότερο δικαιολογημένο για τη μάζα του φωτονίου παρά για την κοσμολογική σταθερά  $\Lambda$ , ή ακόμη και για τη σταθερά  $\omega$  των Brans-Dicke?

Παραμένει το μεγάλο πλεονέκτημα των νέων ή κλασικών θεωριών της μεγάλης έκρηξης, οι οποίες απ' αυτή την άποψη συμπίπτουν: η δυνατότητα *πρόβλεψης της τωρινής χημικής σύστασης* του Σύμπαντος με αρκετά λογικό τρόπο. Το ουσιαστικό σημείο αυτού του επιχειρήματος είναι η πολύ υψηλή θερμοκρασία των εποχών της μεγάλης έκρηξης. Οι παράμετροι των μοντέλων είναι ο «βαθμός πληρότητας» του Σύμπαντος, ο οποίος συμβολίζεται από την τωρινή πυκνότητα μάζας στο σύμπαν, και η «θερμοκρασία» του μέλανος σώματος που αντιπροσωπεύει κάλλιστα το υπόβαθρο. Μια δυσκολία στον προσδιορισμό της αφθονίας, όπου και να γίνεται, βρίσκεται προφανώς στο ότι, π.χ., τα γνωστά φυσικά φαινόμενα της διάχυσης και διαχωρισμού μπορούν να μειώσουν σε έναν αστέρα την αφθονία του Λιθίου, ή ότι το υδρογόνο μπορεί να μπει σε κίνηση από την πίεση ακτινοβολίας...

Ο ρόλος της εξέλιξης των αστερών πρώτης γενεάς, των δημιουργούμενων ή νέων γαλαξιών είναι άγνωστος: μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στον εμπλουτισμό σε Ήλιο; Μερικοί (Rees) πρόβλεψαν ακόμα και μια ψυχρή μεγάλη έκρηξη, όπου τα στοιχεία δημιουργούνται μέσα στους πολύ μαζικούς αστέρες (τους λεγόμενους τρίτου πληθυσμού) των πρώτων γενεών...

Δεν μου φαίνεται να αμφισβητείται πραγματικά η τιμή της  $T$  σ' αυτούς τους υπολογισμούς. Αλλά τι γίνεται με την πυκνότητα; Σε ένα ιεραρχημένο σύμπαν δεν πολυξέρουμε σήμερα τι να πούμε! Υπάρχουν αιτίες υποτίμησης της πυκνότητας. Γνωρίζουμε τη διαμάχη για την σκοτεινή ύλη – αυτήν που θα ήταν αναγκαία

για να είναι το σύμπαν περιορισμένο, κλειστό, και ανοικτό, και για να συνεχιστεί μέχρι το όριο η διαστολή. Η «κρίσιμη πυκνότητα» το επιτρέπει. Αλλά στο πλαίσιο ενός κρίσιμου σύμπαντος υπάρχουν επίσης αιτίες υπερτίμησης: αν π.χ. η ιεραρχική κατανομή των πυκνοτήτων συνεχιστεί παραπέρα απ' το παρατηρούμενο σύμπαν.

Η έκφραση της αναγκαιότητας μιας «κρίσιμης πυκνότητας» δεν μου φαίνεται σοβαρή. Και πάλι, η εξίσωση με το μηδέν της σταθεράς  $\Omega - 1$  είναι μεταφυσικής φύσεως και συνδέεται με την αρχή της απλότητας... Η δυσκολία που σχετίζεται με την ιεραρχική κατανομή δεν θα αρθεί παρά μόνο με μια πιο βαθιά διεισδυση στο Σύμπαν.

Παραμένουν πολλές αβεβαιότητες στην κλασική θεωρία του σχηματισμού των στοιχείων. Έτσι, εξαρτάται απ' τις υποθέσεις που μπορούν να γίνουν για τη φυσική των νετρίνο. Για να συμφιλιωθούν πραγματικά οι μετρήσεις και οι θεωρίες, θα έπρεπε να γίνει δεκτό ότι τα νετρίνο έχουν μάζα σαφώς μεγαλύτερη των 10 έως 30 eV που υπαγόρευαν κάποτε οι μετρήσεις. Μπορούμε να το παραδεχτούμε; Τι ξέρω εγώ;

### **Συμμετρικά Σύμπαντα**

Θα ήθελα να τελειώσω αυτή την γρήγορη συζήτηση αναφέροντας δυο σημεία που θεωρήθηκαν αποφασιστικά υπέρ της «νέας μεγάλης έκρηξης» (ΠΜΕ) από τους πιο λεπτολόγους προπαγανδιστές της.

Το πρώτο αφορά στην προφανή *δυσσυμμετρία* του παρατηρήσιμου Σύμπαντος. Είναι γνωστό ότι το παρατηρούμενο σύμπαν αποτελείται από συνηθισμένη «ύλη» και όχι από «αντιύλη» η οποία είναι παρούσα στο ένα ή στο άλλο σημείο με την ευκαιρία μιας τοπικής διαδικασίας. Κατά τα άλλα είναι ασταθής και εκμηδενίζεται ταχύτατα.

Όμως η ΚΜΕ προβλέπει τη δημιουργία σε ίσο αριθμό, βαριονίων και αντιβαριονίων. Για να γίνει εφικτό το σπάσιμο αυτής της συμμετρίας, πρέπει να επέμβουν οι θεωρίες της μεγάλης ενοποίησης (των οποίων ένα πρωτότυπο, οφειλόμενο στους Georgi και Glashow, ανάγεται στο 1974). Οι ισχυρές, ασθενείς και ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις θα ήταν, σε τέτοιες θεωρίες, τρεις μορφές μιας και της αυτής αλληλεπίδρασης. Για το πέρασμα από την μια στην άλλη, πρέπει να λειτουργήσουν συμμετρίες. Στο σημερινό σύμπαν σπάνε αυτές οι συμμετρίες.

Το σπάσιμο κάθε μιας απ' αυτές αντιστοιχεί σε ένα είδος αλλαγής κατάστασης, ή «μετάβασης φάσης», για όποιον προτιμάει αυτόν τον όρο. Όμως μόνο με την ευκαιρία μιας τέτοιας μετάβασης φάσης θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε μια μη-διατήρηση του βαρυονικού αριθμού. Επίσης ότι η θεωρία της Κλασικής Μεγάλης Έκρηξης η οποία φυσιολογικά θα κατέληγε σε έναν μηδενικό βαρυονι-

κό αριθμό, διαφεύδεται στην πράξη από την παρατήρηση ενός σημερινού σύμπαντος που περιλλείει έναν βαρυονικό αριθμό της τάξεως του  $10^{78}$ , αποδεικνύοντας τη γενική κυριαρχία των βαρυονικών έναντι των αντιβαρυονίων στην περιοχή μας.

Όπως γίνεται συχνά σ' αυτήν την μεγάλη διαμάχη χωρίς λύση, υπάρχουν πολλές λύσεις στο πρόβλημα. Μια απ' αυτές η *συμμετρική κοσμολογία* του Souriau, υπερβολικά παραγνωρισμένη, είχε το μεγάλο προσόν ότι στηρίζεται σε παρατηρησιακά δεδομένα. Ο Souriau εξετάζει την κατανομή των κβάζαρς στον τρισδιάστατο χώρο που μας περιβάλλει. Παραδέχεται ότι η φασματική μετατόπιση είναι μέτρο της απόστασης (πράγμα που έρχεται σε αντίφαση με τις παρατηρήσεις του Agr όπως αυτός τις ερμηνεύει. Αλλά μην επιχειρηματολογήσουμε εδώ για την ερμηνεία από τον Agr των μετρήσεών του). Ο Souriau λοιπόν και οι συνεργάτες του, εξετάζοντας το σύνολο των 3.500 ενεργών κβάζαρς και γαλαξιών, τους «προβάλλουν» με δισδιάστατο τρόπο σε έναν επίπεδο δίσκο, εικόνα του σφαιρικού Σύμπαντος, όπου η Γη προβάλλεται στο άκρον αυτού του δίσκου. Όμως αυτή η εικόνα αναδεικνύει με τρόπο που ενισχύθηκε από την εποχή των πρώτων εργασιών του Souriau (χρησιμοποιούσε τότε περίπου μονάχα 300 κβάζαρς μια ζώνη απουσίας. Πώς ερμηνεύεται αυτή η ζώνη απουσίας; Ο Souriau, απορρίπτοντας τη θεωρία της μεγάλης ενοποίησης με το επιχείρημα «η αυθόρμητη διάσπαση του πρωτονίου, προβλεπόμενη από τις θεωρίες αυτές δεν παρατηρήθηκε με ικανοποιητικό τρόπο», διατυπώνει μια άλλη υπόθεση. Η ζώνη απουσίας χωρίζει δύο ταυτόσημα ήμισυ του Σύμπαντος, ένα μισό ύλης, ένα μισό αντιύλης. Η άδεια ζώνη αντιστοιχεί σε μια ζώνη εκμηδενισμού. Είναι ο κοσμικός «ισημερινός», για να χρησιμοποιήσουμε μια εικόνα του Souriau. Σ' αυτό το σύμπαν, η Γη βρίσκεται σε μια τέτοια θέση, βυθισμένη στο μισό σύμπαν συνηθισμένης ύλης, που ελάχιστα μπορεί να διακρίνει τα τμήματα του σύμπαντος που βρίσκονται στο μισό σύμπαν αντιύλης.

Βλέπουμε λοιπόν δυο πολύ διαφορετικές αντιλήψεις να συγκρούονται για την επίλυση του ίδιου προβλήματος: η μία, η θεωρία της μεγάλης ενοποίησης, οδηγείται από μία αρχή «απλότητας» την οποία θεωρώ μεταφυσικής ουσίας. Η άλλη οδηγείται μοναχά από μια διαίσθηση που στηρίζεται σε ένα πειραματικό δεδομένο του οποίου η ανακάλυψη κατευθύνθηκε περισσότερο από τη διαίσθηση του επιστήμονα παρά από μεταφυσικές θεωρήσεις. Κατά κάποιον τρόπο, για άλλη μια φορά, έχουμε τον Πυθαγόρα εναντίον του Αριστοτέλη!

Για να επανέλθουμε σύντομα στην κοσμολογική φύση των κβάζαρς μπορούμε απλά να πούμε ότι χωρίς καμιά αμφιβολία, ένας μεγάλος αριθμός ταξινομημένων απ' τον Burbidge και τους συνεργάτες του έχουν πράγματι κοσμολογικό z, και ότι η διασπορά των σημείων στο διάγραμμα, μέγεθος-φασματική μετατόπιση, φαίνεται να δείχνει ότι αν η μετατόπιση δεν είναι *ipso facto* ένα καλό μέτρο της απόστασης, απεναντίας, το μεγαλύτερο μέρος των z δεν είναι και πολύ κακό μέτρο της! Ακόμα και αν παραδεχτούμε ότι τα πράγματα είναι έτσι, ο Souriau δε

θα είχε δείξει, μέσα στην προοπτική του Αγρ, παρά μόνο μια πολύ περίεργη κατανομή των κβάζαρς, όμως χωρίς κοσμολογικό ενδιαφέρον. Δεν μας απαγορεύεται να σκεφτούμε ότι αν επιβεβαιωθεί, η στατιστική του Szwargiel είναι ένα επιχείρημα ενάντια στην ιδέα του Αγρ, σύμφωνα με την οποία αν τα  $z$  των γαλαξιών είναι κοσμολογικά, δηλαδή μετράνε τις αποστάσεις τους, αυτό δεν μπορεί να είναι η περίπτωση των κβάζαρς.

### Υπόβαθρο 2,75 K

Η παρατήρηση του βάθους του ουρανού με θερμοκρασία 2,75 βαθμών Kelvin, από την αρχική της ανακάλυψη το 1964 απ' τους Penzias και Wilson, λίγο κατά τύχη, είναι τώρα άνετα επιβεβαιωμένη από τις εκπληκτικές μετρήσεις του δορυφόρου COBE. Απ' τη μια μεριά το φάσμα αυτής της ακτινοβολίας είναι πράγματι φάσμα μέλανος σώματος, για το οποίο λανθασμένα υπήρχαν αμφιβολίες εξαιτίας κάποιων μετρήσεων. Από την άλλη μεριά, μετά από διόρθωση ενός όρου της ταχύτητας του ηλίου προς έναν παγκόσμιο  $\alpha$ ρεχ, αυτή η ακτινοβολία είναι ισότροπη, σε τεράστια προσέγγιση.

Αυτή η ισοτροπία έθεσε προβλήματα και ώθησε στην εφεύρεση του πληθωρισμού, και αναμφίβολα στην αποδοχή του. Σήμερα, οι μικρές αποκλίσεις από την ισοτροπία ανταποκρίνονται σε ένα ερώτημα που τίθεται συχνά: πώς το σύμπαν περνάει από τη συνολική ισοτροπία (γύρω στο  $z=10.000$ ) στη γνωστή υψηλά ανισότροπη και ανομοιογενή κατανομή των κοντινών γαλαξιών ( $z=0$  μέχρι 1);

Ας θυμήσουμε ότι η ανακάλυψη των Penzias και Wilson, το 1964, φαίνεται ότι σημάδεψε τον απόλυτο θρίαμβο της θεωρίας της ΚΜΕ. Πράγματι, ο Gamow (και οι συνεργάτες του), δεν είχαν προβλέψει στη βάση της θεωρίας της ΚΜΕ, ένα τέτοιο φαινόμενο, και μάλιστα δεν είχαν δώσει λογικές τιμές της θερμοκρασίας υπόβαθρου; Χωρίς να επιχειρηματολογήσω πάνω στο θέμα του μεγάλου φάσματος των τιμών που είχαν τότε προβλεφθεί, θα ήθελα να επιμείνω ξανά ότι το γεγονός της πρόβλεψης ενός δεδομένου με τη βοήθεια μιας θεωρίας και η παρατήρησή του, είναι αναγκαία αλλά όχι επαρκής συνθήκη για να αποδειχθεί η ποιότητα αυτής της θεωρίας! Πράγματι, ο Findlay-Freundlich, το 1954, είχε οικοδομήσει μια θεωρία κουρασμένου φωτός, σε ένα πλαίσιο που εξάλλου την καθιστούσε ακόμη λιγότερο παραδεκτή, για διάφορους λόγους. Αλλά ο Max Born, σε δύο άρθρα του 1954 και 1955, υιοθετούσε την ιδέα του Findlay-Freundlich και υπολόγιζε ως απαραίτητη συνέπεια αυτής της ιδέας την ύπαρξη ενός υπόβαθρου ακτινοβολίας βάθους ουρανού ισότροπου και μέλανος σώματος. Ο Born καθορίζει ότι η θερμοκρασία του θα κυμαινόταν μεταξύ 1,3 και 2,3 απόλυτους βαθμούς. Αυτό δεν ήταν χειρότερο απ' την ακρίβεια του Gamow, αλλά μάλλον καλύτερο. Ωστόσο κανείς δεν δοξάστηκε γι' αυτό και ούτε επιχειρηματολόγησε υπέρ της θεωρίας

της γήρανσης του φωτός, η οποία ήταν πολύ λιγότερο γνωστή, για λόγους δημοσιότητας, απ' αυτές της ΚΜΕ του Gamow.

Η μικρή ανισοτροπία που ανακάλυψε ο δορυφόρος COBE αποδεικνύει κάτι; Σχεδόν χωρίς εξέταση, και σίγουρα χωρίς συζήτηση, ειπώθηκε αμέσως ότι το πείραμα προμήθευε κατά κάποιον τρόπο τον «ελλείποντα κρίκο» για να χρησιμοποιήσουμε ένα όρο δανεισμένο απ' την ορολογία της θεωρίας της εξέλιξης των ειδών.

Ας θυμήσουμε πρώτα ότι στους παρατηρούμενους γαλαξίες ανακαλύφθηκε διαδοχικά η ύπαρξη σημανών γαλαξιών έκτασης μερικών Mpc\*, και υπερσμήνων της τάξης των 20 με 50 Mpc. Αυτοί οι γαλαξίες, τα σμήνη, τα υπερσμήνη, κατανέμονται σε «πίττες», σε αλυσίδες, σχηματίζοντας τα τοιχώματα ενός γιγαντιαίου δικτύου. Μια από τις μεγαλύτερες δομές που έχουν ανακαλυφθεί στο Σύμπαν είναι το «Μεγάλο Τείχος», που παρατήρησαν οι Geller και Huchra, και του οποίου η έκταση είναι της τάξης των 60 Mpc.

Όμως οι δομές που παρατηρούνται στις εικόνες του COBE, ορατές χάρη σε διακυμάνσεις της τάξης των  $\pm 3 \cdot 10^{-5}$  K, έχουν εκτάσεις της τάξης των 3 ή 3 Gpc. Είναι συνεπώς προφανές ότι δεν μπορούν να είναι οι πρόδρομοι των μεγάλων δομών για τις οποίες μίλησα σχετικά με τον κοντινό κόσμο των γαλαξιών – πολύ κοντινοί γι' αυτό. Αλλά η διακριτική ικανότητα του COBE είναι της τάξης των 100 Mpc, ούτως ώστε δεν μπορούμε να ελπίζουμε να εμφανιστούν διακυμάνσεις πυκνότητας που θα ήταν ίσως αιτία των παρατηρούμενων δομών στον κόσμο των γαλαξιών. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο αν βελτιωθεί η διακριτική ικανότητα.

Ένα άλλο σημαντικό επιχείρημα που προκύπτει από τις διακυμάνσεις πυκνότητας που παρατήρησε ο COBE, είναι ότι επιβάλλουν διακυμάνσεις του βαρυτικού πεδίου οι οποίες θα ήταν ανεξήγητες χωρίς την επέμβαση μιας μη παρατηρημένης ποσότητας ύλης, της περίφημης «σκοτεινής ύλης» – dark matter –, που επιτρέπει έτσι την ύπαρξη ενός «ακριβώς» ανοικτού σύμπαντος με  $\Omega - 1 = 0$ .

Αλλά είναι σωστό να σημειωθεί ότι όλοι οι σχολιαστές υπογραμμίζουν ότι τα πειράματα του COBE δείχνουν ταυτόχρονα το κοσμικό σήμα και το θόρυβο που προέρχεται από τα όργανα. Θα χρειαστεί ακόμα πολύς χρόνος παρατηρήσεων και σίγουρα πολύ πιο λεπτές αναλύσεις για να καταλήξουμε επιτέλους σε διαχωρισμό των δυο ειδών σημάτων, και σε έναν ακριβή χάρτη της ακτινοβολίας των  $2,75$  °K.

Θα θέλαμε να υπογραμμίσουμε ότι όσο αυτό δεν έχει γίνει, δεν θα ξέρουμε τίποτα στα σίγουρα. Θα ήταν διασκεδαστικό να ανακαλυφθεί ένας συσχετισμός μεταξύ αυτών των διακυμάνσεων και την πραγματική κατανομή των κοντινών

\* Parsec:  $3.0857 \cdot 10^{16}$  μέτρα. Ένα Mpc:  $10^6$  pc. Ένα Gpc:  $10^9$  pc. (σ.τ.μ.).



γαλαξιών, αυτό που περιμένουν οι αστρονόμοι και αποδίδουν στην ακτινοβολία υπόβαθρου ένα καθαρά τοπικό νόημα, συσχετισμένο με μια πυκνότητα ύλης και μάλλον στο τοπικό υπερσμήνος... Αλλά μάλλον δεν θα μπορούμε ακόμα να πούμε τίποτα, ούτε σε αυτήν την κατεύθυνση ούτε σε καμιάν άλλη!

### **Συμπέρασμα**

Πρέπει να καταλήξω σ' ένα συμπέρασμα.

Τα υλικά κάθε κοσμολογίας είναι καταρχήν παρατηρησιακά δεδομένα, η «κοσμολογική» φύση των οποίων προϋποτίθεται, και ο αριθμός τους είναι πολύ περιορισμένος. Ύστερα βεβαίως το γνωστό οπλοστάσιο των φυσικών νόμων, που δε θα πρέπει να μας κάνουν να ξεχάσουμε ότι ένα σημαντικό τμήμα της φυσικής δεν έχει αντικείμενο παρά μόνο στο κοσμολογικό πλαίσιο, και ότι έχουμε συνελπώς την εμφάνιση μιας «νέας φυσικής».

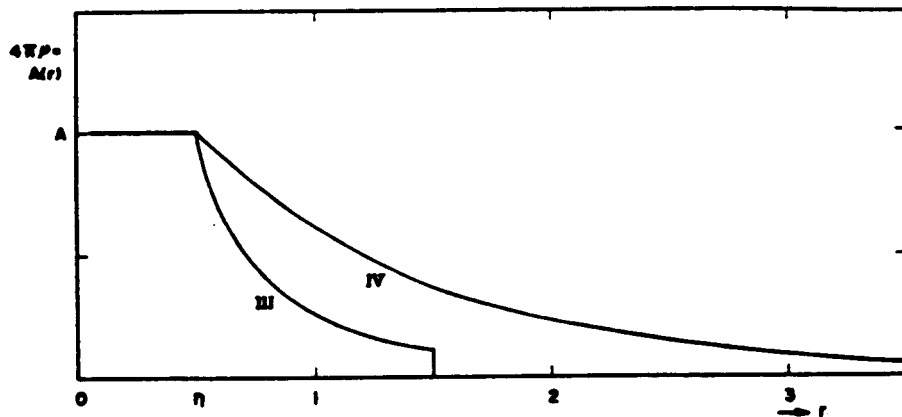
Ένα άλλο προφανές υλικό κάθε κοσμολογίας είναι επίσης οι προϋπάρχουσες ιδέες που ίσως έχουμε προσεγγίζοντας αυτές τις μελέτες.

Μετά από μια μάλλον αριστοτελική έμπνευση η οποία ώθησε τον Einstein σε ένα στάσιμο σύμπαν, σε υποστηρικτές της Κλασικής Μεγάλης Έκρηξης γοητεύτηκαν από την πλατωνική θέση και από την επέμβαση ενός δημιουργού, έστω και αρκετά αφηρημένου. Είχαν επίσης στο μυαλό τους μια κάποια αρχή «απλότητας», «οικονομίας» που τους σαγήνευε: η ΚΜΕ που ανταποκρίνεται μόνο σε διάφορα φαινόμενα, ήταν γεμάτη γοητεία. Έπειτα φάνηκαν τα ελλωτώματα της ΚΜΕ. Η Πληθωριστική Μεγάλη Έκρηξη απαντάει σε μερικές απ' αυτές τις δυσκολίες. Αλλά συνιστά επίσης μια απώλεια απλότητας και δεν πληροί μια οικονομία μέσων και εννοιών. Δεν χρειάζεται να παραδεχθεί την Μεγάλη Ενοποίηση; Νέα ιδέα μεταφυσικής ουσίας. Ιδού λοιπόν μια Μεγάλη έκρηξη πολύ διαφορετική από την κλασική. Και τι να πει κανείς για την Κβαντική Μεγάλη Έκρηξη που προχωράει μέχρι να αφαιρεί το νόημά της και τις μεταφυσικές επιπτώσεις της στο «χρόνο μηδέν»; Η όμορφη Μεγάλη Έκρηξη – ΜΕ – τόσο απλή και καθαρή στις απαρχές της, είναι σήμερα μια θεωρία γεμάτη ουλές και επιδέσμοις, που παραδέρνει ανάμεσα στους πυθαγόρειους πειρασμούς αυτών που προτιμάνε τον συνεκτικό χαρακτήρα μιας όμορφης αφηρημένης κατασκευής, τους πλατωνικούς πειρασμούς της επέμβασης ενός δημιουργού, και τον επίμονο αριστοτελισμό αυτών που θα θέλανε απλώς, όπως ο Πλάτωνας, αλλά χωρίς δημιουργό, να «σώσουν τα φαινόμενα»!

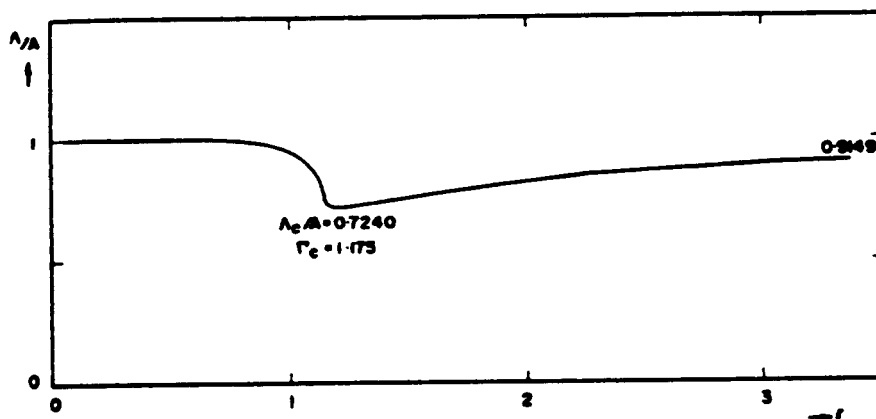
Θα έπρεπε όμως να συμφωνηθεί η επιλογή των φαινομένων που πρέπει να σωθούν! Ποιο είναι το πιο σημαντικό; Η φαινόμενη επέκταση του παρατηρούμενου Σύμπαντος ή η σημαντική του ανομοιογένεια;

Τέλος, αν η ΚΒΜΕ φαίνεται σήμερα να ελκύει το μεγαλύτερο μέρος των θεωρητικών, ακόμα και αν δεν έχουν να μας προτείνουν έγκυρη περιγραφή της

χβαντικής φάσης, η πόρτα μένει διάπλατα ανοικτή σ' αυτό που σε ορισμένους εμφανίζεται αιρετικό, ακόμα και λανθασμένο, αλλά που μου φαίνεται ωστόσο ορθό χειρό λογικών υποθέσεων εργασίας, όχι ακόμα πλήρως εξερευνημένων, όχι αρκετά εν πάσει περιπτώσει, ώστε να απορριφθούν. Έτσι πιστεύω ότι η μεγάλη μάχη θα πρέπει να συνεχιστεί πολύ...

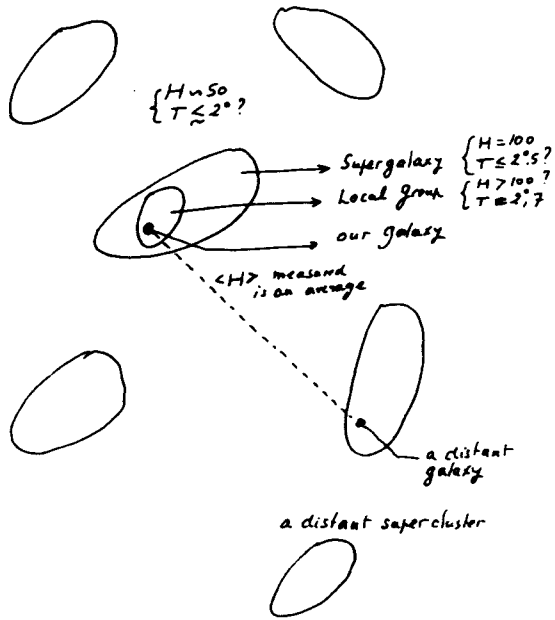


Συμπεριφορά της αναγμένης πυκνότητας  $4\pi\rho/\Lambda$ . Η καμπύλη III αντιστοιχεί στον ορισμό του τμήματος 3. Εδώ έχουμε  $r_1=0,5$  και  $r_2=1,5$ . Η καμπύλη IV αντιστοιχεί στον ορισμό του τμήματος 4. Εδώ έχουμε  $r_1=0,5$ ,  $B=0$ ,  $c=1$ .

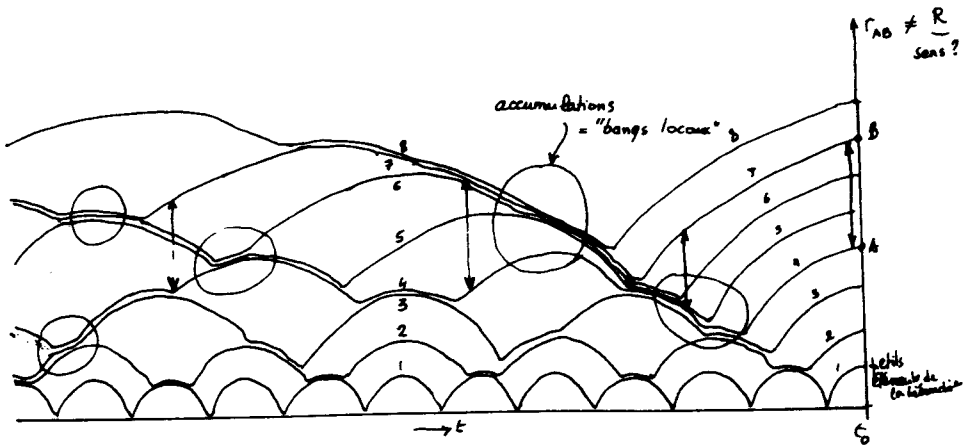


Εικόνα 1 (Κατά Narlikar, Pecker, Vigier 1991)

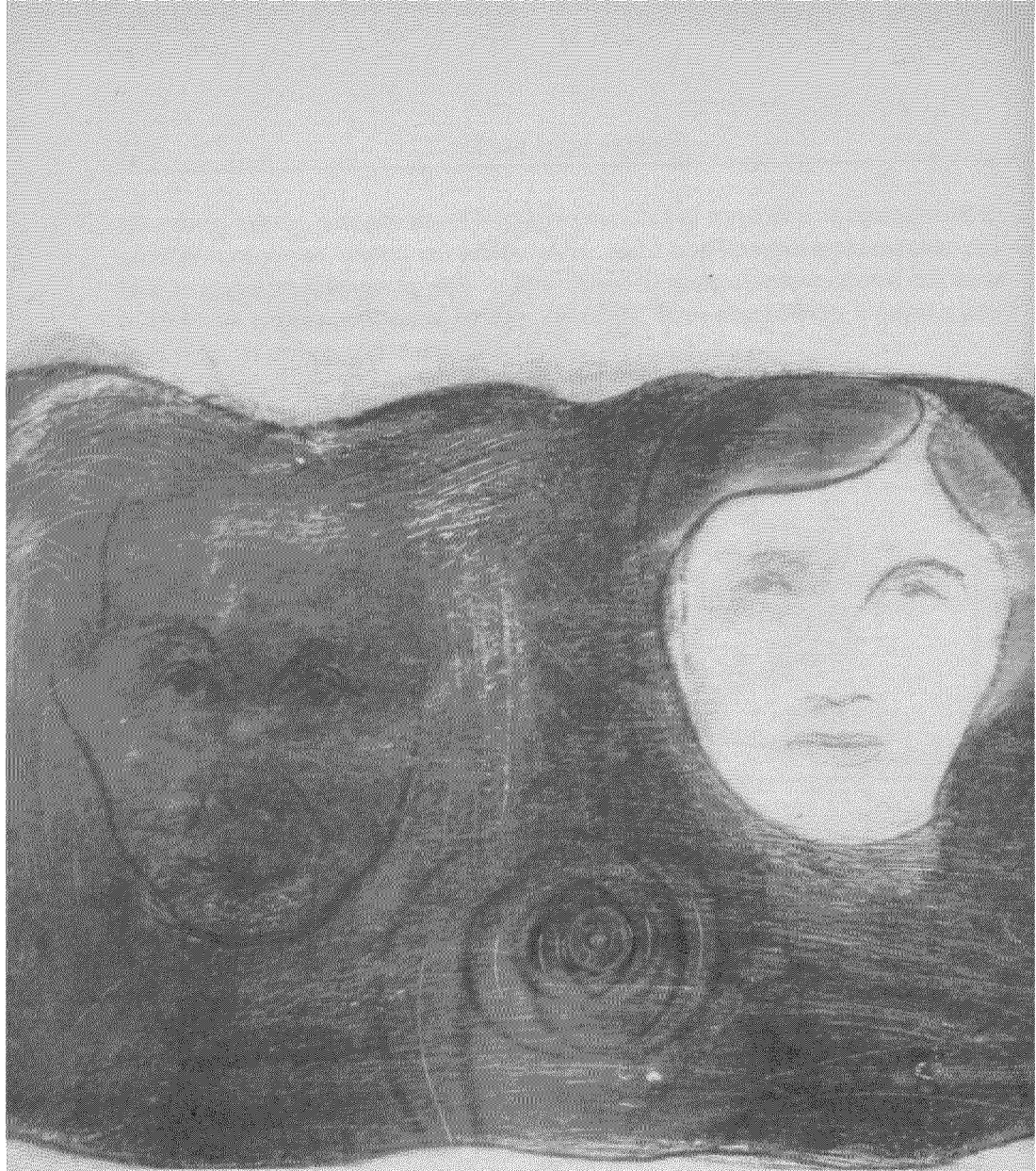
Τυπική συμπεριφορά της  $\Lambda(r)$ . Η καμπύλη της εικόνας αντιστοιχεί στη μεταβολή της πυκνότητας που περιγράφεται στην ανωτέρω καμπύλη IV.



Εικόνα 2



Εικόνα 3



*Η Μέτρηση του χρόνου, 1991 Μικτή τεχνική*