

Μετάφραση μιας εκλαϊκευμένης διάλεξης του Στέφεν Χόκιν σχετικά με τη φύση του χρόνου. Μπορείτε να βρείτε άλλες διαλέξεις του (στα αγγλικά) στον δικτυακό τόπο του μεγάλου επιστήμονα <http://www.hawking.org.uk/lectures/lindex.html>

Η Αρχή του Χρόνου

Σε αυτή την διάλεξη, θα ήθελα να ασχοληθώ με το αν ο ίδιος ο χρόνος έχει μια αρχή και αν θα έχει ένα τέλος. Όλα τα στοιχεία συνηγορούν, ότι το Σύμπαν δεν υπήρχε από πάντα, αλλά είχε μια αρχή, περίπου 15 δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Αυτή είναι ίσως και η πιο αξιοσημείωτη ανακάλυψη της σύγχρονης κοσμολογίας. Όμως θεωρείται πλέον δεδομένη. Δεν είμαστε ακόμα σίγουροι αν το Σύμπαν θα έχει ένα τέλος. Όταν έδινα μια διάλεξη στην Ιαπωνία, μου ζητήθηκε να μην αναφέρω την πιθανότητα κατάρρευσης του σύμπαντος, γιατί θα μπορούσε να επηρεάσει το χρηματιστήριο. Παρόλα αυτά, μπορώ να διαβεβαιώσω όποιον ανησυχεί για τις επενδύσεις του, ότι είναι λιγάκι νωρίς για να πουλήσει: ακόμα κι αν το Σύμπαν φτάσει σε ένα τέλος, δεν θα συμβεί τουλάχιστον για τα επόμενα είκοσι δισεκατομμύρια χρόνια. Μέχρι τότε, ίσως η Γενική Συμφωνία Δασμών και Εμπορίου (GATT) να έχει μπει σε ισχύ.

Η χρονική κλίμακα του Σύμπαντος είναι πολύ εκτεταμένη σε σύγκριση με εκείνη της ανθρώπινης ζωής. Για αυτό είναι λογικό το ότι μέχρι πρόσφατα, το Σύμπαν θεωρούταν στατικό και αναλλοίωτο στο χρόνο. Από την άλλη μεριά, πρέπει να ήταν εμφανές, ότι η ανθρώπινη κοινωνία συνεχώς αναπτύσσεται πολιτισμικά και τεχνολογικά. Αυτό υποδεικνύει ότι η παρούσα φάση της ανθρώπινης ιστορίας δεν μπορεί να συνεχιστεί για περισσότερα από μερικές χιλιάδες χρόνια. Διαφορετικά, θα ήμασταν πολύ πιο εξελιγμένοι από ότι είμαστε. Είναι, λοιπόν, φυσικό να πιστεύουμε ότι η ανθρώπινη φυλή, και ίσως ολόκληρο το Σύμπαν, είχε μια αρχή στο σχετικά κοντινό παρελθόν. Όμως, πολλοί άνθρωποι αντιδρούσαν στην ιδέα ότι το Σύμπαν είχε μια αρχή, γιατί φαινόταν να υπονοεί την ύπαρξη ενός υπερφυσικού όντος που δημιούργησε το Σύμπαν. Προτιμούσαν να πιστεύουν ότι το Σύμπαν, και η ανθρώπινη φυλή, υπήρχαν από πάντα. Η εξήγησή τους για την ανθρώπινη πρόοδο ήταν ότι υπήρξαν περιοδικοί κατακλυσμοί, ή άλλες φυσικές καταστροφές, που επαναλαμβανόμενα γύριζαν την ανθρώπινη φυλή πίσω, σε ένα πρωτόγονο στάδιο.

Αυτή η συζήτηση σχετικά με το αν το σύμπαν είχε ή δεν είχε μια αρχή, διατηρήθηκε μέσα στον 19^ο και τον 20^ο αιώνα. Είχε στηριχτεί κυρίως στις βάσεις της θεολογίας και της φιλοσοφίας, με ελάχιστη εξέταση των στοιχείων των επιστημονικών παρατηρήσεων. Αυτό μπορεί να ήταν λογικό, δεδομένου του απίστευτα αναξιόπιστου χαρακτήρα των κοσμολογικών παρατηρήσεων, μέχρι προσφάτως. Ο κοσμολόγος, Σερ Άρθουρ Έντινγκτον (Sir Arthur Eddington), κάποτε είπε, «Μην ανησυχείς αν η

θεωρία σου διαφωνεί με τις παρατηρήσεις, γιατί πιθανώς είναι λανθασμένες». Αλλά αν η θεωρία διαφωνεί με τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, έχει σοβαρό πρόβλημα. Στην πραγματικότητα, η θεωρία ότι το Σύμπαν υπήρχε από πάντα βρίσκεται σε σοβαρή δυσχέρεια με τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής. Ο Δεύτερος Νόμος, αναφέρει ότι η αταξία πάντα αυξάνεται με το χρόνο. Όπως συμβαίνει και με τη συζήτηση γύρω από την ανθρώπινη πρόοδο, υποδεικνύει ότι πρέπει κάπου να υπήρχε ένα ξεκίνημα. Διαφορετικά, το σύμπαν θα βρισκόταν πλέον σε μια κατάσταση απόλυτης αταξίας, και τα πάντα θα ήταν στην ίδια θερμοκρασία. Σε ένα άπειρο και ατέρμονο σύμπαν, κάθε οπτική ευθεία θα σταματούσε πάνω στην επιφάνεια ενός άστρου. Αυτό θα σήμαινε ότι ο νυχτερινός ουρανός θα ήταν τόσο λαμπρός όσο και η επιφάνεια του ήλιου. Ο μόνος τρόπος για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα θα ήταν, για κάποιο λόγο, τα αστέρια να έλαμπαν μετά από μια συγκεκριμένη ώρα.

Σε ένα σύμπαν που θα ήταν ουσιαστικά στατικό, δεν θα υπήρχε καμία δυναμική αιτία, που θα επέβαλε στα αστέρια κάποια στιγμή ξαφνικά ν' «ανάψουν». Οποιοσδήποτε τέτοιος «χρόνος ανάματος» θα είχε επιβληθεί από μια παρέμβαση εκτός σύμπαντος. Η κατάσταση άλλαξε όμως, όταν συνειδητοποιήθηκε ότι το σύμπαν δεν ήταν στατικό, αλλά επεκτεινόταν. Οι γαλαξίες απομακρύνονται σταθερά ο ένας από τον άλλο. Αυτό σημαίνει ότι ήταν κοντινότερα μεταξύ τους στο παρελθόν. Θα μπορούσαμε να παραστήσουμε γραφικά τον αποχωρισμό δύο γαλαξιών σαν συνάρτηση του χρόνου. Εάν δεν υπήρχε επιτάχυνση λόγω της βαρύτητας, το γράφημα θα έδινε μια ευθεία γραμμή. Η προέκτασή της στο παρελθόν θα έδινε μηδενικό διαχωρισμό, περίπου είκοσι δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Κάποιος ίσως περίμενε η βαρύτητα να αναγκάζει τους γαλαξίες να επιταχύνονται ο ένας προς τον άλλο. Αυτό θα σήμαινε ότι το γράφημα του διαχωρισμού των δύο γαλαξιών θα καμπύλωνε προς τα κάτω, κάτω από την ευθεία γραμμή. Έτσι ο χρόνος του μηδενικού διαχωρισμού θα ήταν λιγότερο από είκοσι δισεκατομμύρια χρόνια.

Σε εκείνη τη χρονική στιγμή, στη Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang), όλη η ύλη του σύμπαντος θα ήταν συγκεντρωμένη σε ένα σημείο. Η πυκνότητα θα ήταν άπειρη. Θα ήταν αυτό που λέμε, μια παραδοξότητα (singularity, μαθηματικά: σημείο ασυνέχειας). Σε μια παραδοξότητα, όλοι οι νόμοι της φυσικής θα είχαν καταρρεύσει. Αυτό σημαίνει ότι η κατάσταση του σύμπαντος, μετά τη Μεγάλη Έκρηξη, δεν θα εξαρτιόταν από οτιδήποτε θα είχε συμβεί πριν, γιατί οι αιτιοκρατικοί νόμοι που ορίζουν το σύμπαν δεν ίσχυαν στην αρχή αυτή. Το Σύμπαν θα εξελισσόταν από τη Μεγάλη Έκρηξη, εντελώς ανεξάρτητα από το τι ήταν πριν. Ακόμα και το ποσό της ύλης στο σύμπαν, θα μπορούσε να είναι διαφορετικό από αυτό που ήταν πριν, εφόσον ο Νόμος της Διατήρησης της Ύλης θα κατέρρεε μαζί με όλους τους άλλους.

Εφόσον τα γεγονότα πριν τη Μεγάλη Έκρηξη δεν είχαν καμία συνέπεια στο Σύμπαν μετά, κάποιος θα μπορούσε να τα αφαιρέσει από τη θεωρία, και να πει ότι ο χρόνος ξεκίνησε στο Big Bang. Γεγονότα πριν τη Μεγάλη Έκρηξη απλώς δεν καθορίζονται.

γιατί δεν υπάρχει τρόπος να υπολογίσει κάποιος τι συνέβη τότε. Αυτού του είδους το ξεκίνημα του Σύμπαντος, και του ίδιου του χρόνου, είναι πολύ διαφορετικό από τα ξεκινήματα που είχαν φανταστεί οι άνθρωποι παλαιότερα. Εκείνα είχαν επιβληθεί στο σύμπαν από κάποιο εξωτερικό παράγοντα. Δεν υπάρχει καμία δυναμική αιτία γιατί η κίνηση των σωμάτων στο κλασικό σύστημα δεν μπορεί να προεκταθεί πίσω στο χρόνο, πολύ πριν το 4004 π.Χ., που είναι η ημερομηνία της δημιουργίας του σύμπαντος, σύμφωνα με το βιβλίο της Γένεσης. Οπότε θα απαιτείτο η άμεση παρέμβαση του Θεού, εάν το σύμπαν ξεκίνησε σε εκείνη την ημερομηνία. Αντίθετα, η Μεγάλη Έκρηξη είναι το ξεκίνημα που επιβάλλουν οι δυναμικοί νόμοι που κυβερνούν το Σύμπαν. Η γένεση συνεπώς είναι ενδογενής του Σύμπαντος, και δεν επιβλήθηκε «από έξω».

Ενώ οι νόμοι της επιστήμης φαίνεται να προβλέπουν ότι το Σύμπαν είχε μια αρχή, οι ίδιοι δεν μπορούσαν να καθορίσουν το πώς θα ξεκινούσε το Σύμπαν. Αυτό ήταν σαφώς πολύ απογοητευτικό. Έτσι υπήρξε μια σειρά προσπαθειών να παρακαμφθεί το συμπέρασμα, ότι υπήρξε μια παραδοξότητα άπειρης πυκνότητας στο παρελθόν. Μια πρόταση ήταν να τροποποιηθεί ο νόμος της βαρύτητας, έτσι ώστε να γίνει απωθητικός. Αυτό μπορούσε να οδηγήσει στο γράφημα διαχωρισμού ανάμεσα σε δύο γαλαξίες, ως μια καμπύλη που προσέγγιζε το μηδέν, αλλά δεν περνά ποτέ μέσω αυτού, σε κανένα καθορισμένο χρόνο στο παρελθόν. Αντίθετα, η ιδέα ήταν ότι όπως οι γαλαξίες απομακρύνονται, νέοι γαλαξίες σχηματίζονται ανάμεσά τους, από ύλη που υποτίθεται δημιουργείται συνεχώς. Αυτή ήταν η θεωρία της Σταθερής Κατάστασης (Steady State Theory) που προτάθηκε από τους Μπόντι (Bondi), Γκόλντ (Gold), και Χόυλ (Hoyle).

Η θεωρία της Σταθερής Κατάστασης, ήταν αυτό που ο Κάρλ Πόππερ (Karl Popper) θα αποκαλούσε, μια καλή επιστημονική θεωρία: έδινε συγκεκριμένες προβλέψεις, που μπορούσαν να ελεγχθούν μέσω παρατήρησης, και πιθανώς να διαψευσθούν. Δυστυχώς για την θεωρία, όντως διαψεύστηκαν. Το πρώτο πρόβλημα προέκυψε με τις παρατηρήσεις του Κέιμπριτζ (Cambridge), σχετικά με τον αριθμό των πηγών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (radio sources) διαφορετικών εντάσεων. Κατά προσέγγιση, κάποιος θα περίμενε ότι οι ασθενέστερες πηγές θα ήταν και οι πιο απομακρυσμένες. Οπότε θα περίμενε να είναι περισσότερες από τις έντονες πηγές, οι οποίες θα έτειναν να βρίσκονται εγγύτερα σε εμάς. Παρόλα αυτά, το γράφημα του αριθμού των ραδιοπηγών ως προς την έντασή τους ανέβαινε πολύ πιο απότομα στις χαμηλές εντάσεις πηγών, από ότι προέβλεπε η θεωρία της Σταθερής Κατάστασης.

Υπήρξαν προσπάθειες να εξηγηθεί και να απορριφθεί αυτό το αριθμητικό γράφημα, με την αξίωση ότι κάποιες από τις ασθενείς πηγές βρίσκονταν στον ίδιο μας τον γαλαξία και έτσι δεν μας έλεγαν τίποτα για την κοσμολογία. Αυτό το επιχείρημα στην πραγματικότητα δεν στέκει απέναντι σε περεταίρω παρατηρήσεις. Αλλά την χαριστική βολή στην θεωρία της Σταθερής Κατάστασης την έδωσε η ανακάλυψη της Μικροκυμματικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου (Microwave Background Radiation,

MBR), το 1965. Αυτή η ακτινοβολία είναι ίδια σε όλες τις κατευθύνσεις του ουρανού. Το φάσμα της ακτινοβολίας υποδηλώνει θερμοκρασία 2,7 βαθμών άνω του μηδενός. Δεν φαίνεται να υπάρχει κανένας τρόπος να εξηγηθεί αυτή η ακτινοβολία στην Θεωρία της Σταθερής Κατάστασης.

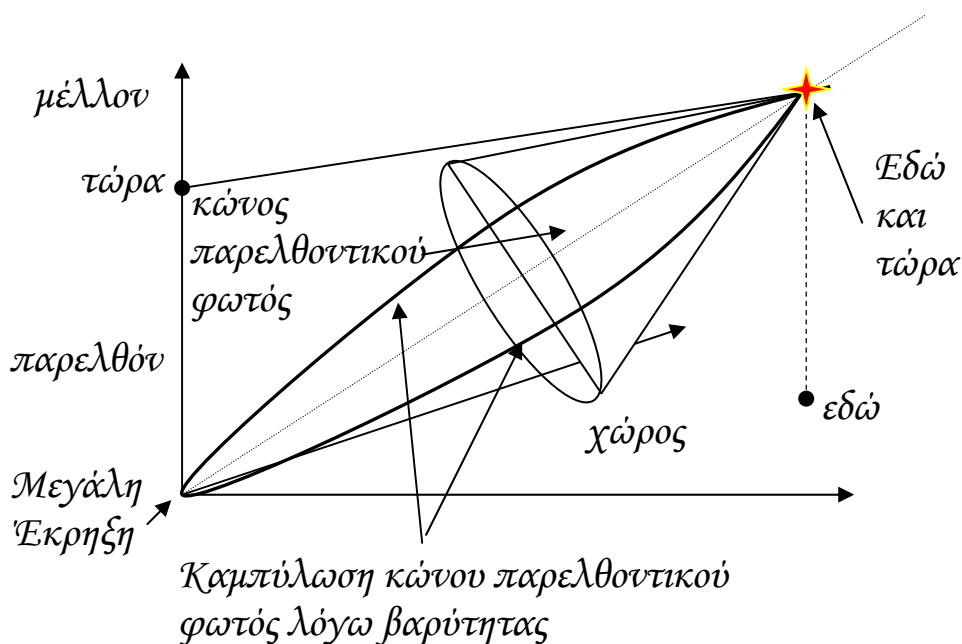
Άλλη μια απόπειρα για να αποφευχθεί μια αρχή στον χρόνο, ήταν η πρόταση ότι ίσως όλοι οι γαλαξίες δεν συναντήθηκαν σε ένα συγκεκριμένο σημείο του παρελθόντος. Αν και κατά μέσω όρο, οι γαλαξίες απομακρύνονται μεταξύ τους με σταθερό ρυθμό, έχουν μικρές επιπλέον ταχύτητες σε σχέση με την σταθερή και ενιαία επέκταση/διαστολή. Αυτές οι αποκαλούμενες «ιδιόμορφες ταχύτητες» (“peculiar velocities”) των γαλαξιών, μπορεί να έχουν διευθύνσεις πλάγιες προς την κύρια επέκταση/διαστολή. Υποστηρίχθηκε, ότι έτσι όπως χαράσσεται γραφικά η θέση των γαλαξιών πίσω στον χρόνο, οι πλάγιες ιδιόμορφες ταχύτητες, θα σήμαιναν ότι οι γαλαξίες δεν θα είχαν όλοι συναντηθεί. Αντίθετα, θα μπορούσε να υπάρχει μια προηγούμενη φάση συστολής του σύμπαντος, κατά την οποία οι γαλαξίες κινούνταν ο ένας προς τον άλλο. Οι πλάγιες ταχύτητες μπορούσαν να σημαίνουν ότι οι γαλαξίες δεν προσέκρουσαν, αλλά προσπέρασαν ο ένας τον άλλο, και μετά άρχισαν να απομακρύνονται. Δεν θα υπήρχε καμία παραδοξότητα άπειρης πυκνότητας, ή κατάρρευση των νόμων της φυσικής. Έτσι δεν θα υπήρχε ανάγκη για το σύμπαν, και τον ίδιο τον χρόνο, να έχουν μια αρχή. Πράγματι, κάποιος ίσως υποθέσει ότι το σύμπαν είχε ταλαντευθεί, αν και αυτό δεν θα έλυne το πρόβλημα με τον Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής: κάποιος θα έπρεπε να περιμένει ότι το σύμπαν θα γινόταν πιο άτακτο με κάθε ταλάντωση. Συνεπώς, είναι δύσκολο να δούμε πώς το σύμπαν μπορούσε να ταλαντεύεται για άπειρο χρόνο.

Αυτή η πιθανότητα, ότι οι γαλαξίες θα είχαν προσπεράσει ο ένας τον άλλο, υποστηρίχθηκε από μια μελέτη δυο Ρώσων. Ισχυρίστηκαν ότι δεν θα υπήρχαν παραδοξότητες σε μια λύση του πεδίου εξισώσεων της γενικής σχετικότητας, η οποία ήταν απόλυτα γενική, με την έννοια ότι δεν είχε καμία σαφή συμμετρία. Όμως, ο ισχυρισμός τους αποδείχτηκε λάθος, από μια σειρά θεωρημάτων του Ρότζερ Πένροουζ (Roger Penrose) και δικών μου. Αυτά έδειξαν ότι η γενική σχετικότητα προέβλεπε παραδοξότητες, κάθε φορά που συγκεκριμένη ποσότητα μάζας βρισκόταν σε μια περιοχή. Τα πρώτα θεωρήματα σχεδιάστηκαν για να δείξουν ότι ο χρόνος φτάνει σε ένα τέλος, μέσα σε μια μαύρη τρύπα, που δημιουργήθηκε από τον θάνατο ενός άστρου. Ωστόσο, η διαστολή του σύμπαντος είναι αντίστροφη από την κατάρρευση ενός άστρου. Θα ήθελα γι' αυτό να σας δείξω, ότι στοιχεία επιστημονικής παρατήρησης υποδεικνύουν ότι το σύμπαν περιέχει επαρκή ύλη, ώστε να περιέχει μια παραδοξότητα.

Προκειμένου να συζητήσουμε κοσμολογικές παρατηρήσεις, βοηθάει να σχεδιάσουμε ένα διάγραμμα των γεγονότων στο χωροχρόνο, με τον χρόνο να πηγαίνει προς τα πάνω, και το χώρο σε οριζόντιες κατευθύνσεις. Για να δείξω αυτό το διάγραμμα σωστά, θα χρειαζόμουν πραγματικά μια τετραδιάστατη οθόνη. Όμως,

λόγω περιορισμένων κυβερνητικών κονδυλίων, μπορέσαμε να εφοδιαστούμε μόνο με μια δυσδιάστατη οθόνη. Έτσι θα μπορέσω να δείξω μόνο μια από τις κατευθύνσεις του χώρου.

Όπως κοιτάμε το σύμπαν, κοιτάμε πίσω στο χρόνο, γιατί το φως έχει εκπεμφθεί από τα πολύ μακρινά σώματα πολύ καιρό πριν, για να μας φτάσει στον παρόντα χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι τα γεγονότα που παρατηρούμε βρίσκονται στον λεγόμενο κώνο παρελθοντικού φωτός. Η κορυφή του κώνου βρίσκεται στην θέση μας στον παρόντα χρόνο. Όπως όμως πηγαίνουμε πίσω στο χρόνο πάνω στο διάγραμμα, ο κώνος του φωτός απλώνεται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, και η έκτασή του αυξάνει. Ωστόσο, εάν υπάρχει επαρκής ύλη στον κώνο παρελθοντικού φωτός μας, οι ακτίνες του φωτός θα κλίνουν η μια προς την άλλη. Αυτό σημαίνει ότι, όπως κάποιος πηγαίνει πίσω στο παρελθόν, η επιφάνεια του κώνου παρελθοντικού φωτός θα φτάσει ένα μέγιστο σημείο, και μετά θα αρχίσει να φθίνει. Αυτή η εστίαση στον κώνο παρελθοντικού φωτός, από τις βαρυτικές επιδράσεις της ύλης του σύμπαντος, είναι σημάδι του ότι το σύμπαν βρίσκεται μέσα στον ορίζοντα του. Εάν κάποιος μπορεί να καθορίσει ότι υπάρχει αρκετή ύλη στο σύμπαν, ώστε να εστιάσει τον κώνο του παρελθοντικού χρόνου μας, τότε αυτός μπορεί να εφαρμόσει τα θεωρήματα παραδοξότητας (singularity theorems), προκειμένου να δείξει πως ο χρόνος πρέπει να είχε μια αρχή.



Πως μπορούμε να πούμε από τις παρατηρήσεις, εάν υπάρχει αρκετή ύλη στον κώνο του παρελθοντικού μας φωτός, για να το εστιάσουμε; Παρατηρούμε έναν αριθμό γαλαξιών, αλλά δεν μπορούμε να υπολογίσουμε άμεσα πόση ύλη περιέχουν. Ούτε μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι κάθε οπτική μας ευθεία θα περνάει μέσα από ένα γαλαξία. Έτσι θα δώσω ένα διαφορετικό επιχειρήμα, για να δείξω ότι το σύμπαν περιέχει αρκετή ύλη για να εστιάσει τον κώνο του παρελθοντικού μας φωτός. Το επιχειρήμα βασίζεται στο φάσμα της Μικροκυμματικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου (microwave background radiation). Αυτή χαρακτηρίζει ακτινοβολίες που βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, με την ύλη με την ίδια θερμοκρασία. Για να επιτευχθεί μια τέτοια ισορροπία, είναι απαραίτητο η ακτινοβολία να έχει διασπαρθεί με την ύλη, πολλές φορές. Για παράδειγμα, το φως που λαμβάνουμε από τον Ήλιο έχει ένα χαρακτηριστικό θερμικό φάσμα. Αυτό δεν συμβαίνει επειδή οι πυρηνικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο κέντρο του Ήλιου παράγουν ακτινοβολία θερμικού φάσματος. Ακριβέστερα, συμβαίνει γιατί η ακτινοβολία έχει απορροφηθεί και επανεκπεμφθεί από την ύλη του Ήλιου, πολλές φορές στη διαδρομή της από το κέντρο στην επιφάνεια.

Στην περίπτωση του σύμπαντος, το γεγονός ότι το μικροκυματικό υπόβαθρο (microwave background) έχει ακριβώς ένα τέτοιο θερμικό φάσμα (κατανομή) υποδεικνύει ότι πρέπει να έχει διασπαρθεί πολλές φορές. Το σύμπαν πρέπει συνεπώς να περιέχει αρκετή ύλη, για να το κάνει αδιαφανές προς κάθε κατεύθυνση που κοιτάμε, γιατί το μικροκυματικό υπόβαθρο είναι το ίδιο προς κάθε κατεύθυνση που κοιτάμε. Επιπλέον, αυτή η αδιαφάνεια πρέπει να προέκυψε πολύ μακριά από εμάς, γιατί μπορούμε να δούμε γαλαξίες και κβάζαρ σε μεγάλες αποστάσεις. Οπότε, πρέπει να υπάρχει μεγάλη ποσότητα ύλης σε μεγάλη απόσταση από μας. Η μέγιστη αδιαφάνεια σε μια ευρεία ζώνη κυμάτων, για δεδομένη πυκνότητα, προέρχεται από ιονισμένο υδρογόνο. Συνηγορεί έτσι στο ότι εάν υπάρχει αρκετή ύλη για να κάνει το σύμπαν αδιαφανές, υπάρχει επίσης αρκετή ύλη για να εστιαστεί ο κώνος του παρελθοντικού φωτός μας. Μπορεί έτσι να εφαρμοστεί το θεώρημα του Πένροουζ και εμένα, για να αποδειχθεί ότι ο χρόνος πρέπει να είχε μια αρχή.

Η εστίαση του παρελθοντικού μας φωτός υποδηλώνει ότι ο χρόνος πρέπει να είχε μια αρχή, εάν η θεωρία της Γενικής Σχετικότητας είναι σωστή. Όμως, κάποιος μπορεί να θέσει το ερώτημα αν όντως η Γενική Σχετικότητα είναι πραγματικά σωστή. Σαφώς, σαν θεωρία, συμφωνεί με όλα τα τεστ επιστημονικής παρατήρησης που πραγματοποιήθηκαν. Ωστόσο, τα τεστ αυτά εξέτασαν την Γενική Σχετικότητα μόνο σε μεγάλες αποστάσεις. Γνωρίζουμε ότι η Γενική Σχετικότητα δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί σε πολύ μικρές αποστάσεις, γιατί είναι μια κλασική θεωρία. Αυτό σημαίνει, ότι δεν λαμβάνει υπόψη την Αρχή της Αβεβαιότητας της Κβαντικής Μηχανικής, η οποία λέει ότι ένα αντικείμενο δεν μπορεί να έχει συγχρόνως μια απόλυτα καθορισμένη θέση και μια απόλυτα καθορισμένη ταχύτητα: όσο πιο εξακριβωμένα υπολογίζουμε την θέση, τόσο πιο ανακριβώς μπορούμε να μετρήσουμε την ταχύτητα, και αντιστρόφως. Συνεπώς, για να καταλάβουμε το στάδιο

υψηλής πυκνότητας, όταν το σύμπαν ήταν πολύ μικρό, χρειαζόμαστε μια κβαντική θεωρία της βαρύτητας, η οποία θα συνδυάζει τη Γενική Σχετικότητα με την Αρχή της Αβεβαιότητας.

Πολλοί ελπίζουν ότι οι κβαντικές επιρροές, θα εξομαλύνουν με κάποιο τρόπο την παραδοξότητα της άπειρης πυκνότητας, και θα επιτρέψουν στο σύμπαν να αναδιπλωθεί επιστρέφοντας σε μια προηγούμενη φάση συστολής. Αυτό θα ήταν μάλλον σαν τη προηγούμενη ιδέα των γαλαξιών που προσπερνούν ο ένας τον άλλο, αλλά η αναδίπλωση θα συντελούταν σε μια πολύ υψηλότερη πυκνότητα. Όμως, νομίζω αυτό δεν πρόκειται να συμβεί: οι κβαντικές επιρροές δεν αναιρούν την παραδοξότητα, και επιτρέπουν στον χρόνο να συνεχίζει ατέρμονα προς τα πίσω. Αλλά φαίνεται ότι οι κβαντικές επιρροές μπορούν να απομακρύνουν το πιο άτοπο στοιχείο, της παραδοξότητας στην Γενική Σχετικότητα. Αυτό, γιατί η κλασική θεωρία δεν επιτρέπει σε κάποιον να υπολογίσει τι θα προέκυπτε από μια παραδοξότητα, γιατί όλοι οι νόμοι της φυσικής θα κατέρρεαν σε αυτήν. Αυτό σημαίνει ότι η επιστήμη δεν θα μπορούσε να προβλέψει το πως θα είχε ξεκινήσει το σύμπαν. Αντίθετα, θα έπρεπε να επικαλεστούμε έναν παράγοντα εκτός σύμπαντος. Ίσως, αυτός είναι ο λόγος που πολλοί θρησκευτικοί ηγέτες ήταν έτοιμοι να δεχθούν το Big Bang και τα θεωρήματα της παραδοξότητας.

Φαίνεται ότι η Κβαντική θεωρία, από την άλλη μεριά, μπορεί να προβλέψει πώς θα ξεκινήσει το σύμπαν. Η Κβαντική θεωρία συστήνει μια καινούρια ιδέα, αυτή του φανταστικού χρόνου (imaginary time). Ο φανταστικός χρόνος μπορεί να ακούγεται σαν επιστημονική φαντασία, και έχει δημιουργήσει τον Δόκτωρ Χου (Doctor Who). Όμως παρόλα αυτά, είναι μια γνήσια επιστημονική έννοια. Μπορείτε να την συλλάβει με τον ακόλουθο τρόπο. Σκεφθείτε τον συνηθισμένο, πραγματικό χρόνο σαν μια οριζόντια γραμμή. Στα αριστερά έχετε το παρελθόν στα δεξιά το μέλλον. Αλλά υπάρχει άλλο ένα είδος χρόνου σε κάθετη κατεύθυνση. Αυτός ονομάζεται φανταστικός χρόνος γιατί δεν είναι το είδος του χρόνου που φυσιολογικά βιώνουμε. Όμως κατά μια έννοια, είναι το ίδιο πραγματικός με αυτόν που αποκαλούμε πραγματικό χρόνο.

Οι τρεις κατευθύνσεις του χώρου και η μια κατεύθυνση του φανταστικού χρόνου συστήνουν αυτό που ονομάζουμε Ευκλείδειο χώρο-χρόνο. Δεν νομίζω να μπορεί κανείς να απεικονίσει ένα τετραδιάστατο κοίλο χώρο. Αλλά δεν είναι και τόσο δύσκολο να σχηματίσει την νοερή εικόνα μιας δυσδιάστατης επιφάνειας, όπως μια σέλα, ή την επιφάνεια μιας μπάλας ποδοσφαίρου.

Στην πραγματικότητα, ο Τζέιμς Χάρτλ (James Hartle) του πανεπιστημίου της Καλιφόρνια Στη Σάντα Μπάρμπαρα, και εγώ έχουμε προτείνει ότι ο χώρος και ο πλασματικός χρόνος μαζί, είναι όντως πεπερασμένοι σε έκταση, αλλά χωρίς όρια. Θα είναι σαν την επιφάνεια της Γης, αλλά με δύο περισσότερες διαστάσεις. Η επιφάνεια

της Γης είναι πεπερασμένη σε έκταση, αλλά δεν έχει όρια ή άκρες. Έχω γυρίσει τον κόσμο, αλλά δεν έπεσα έξω.

Εάν ο χώρος και ο πλασματικός χρόνος είναι όντως όπως η επιφάνεια της Γης, δεν θα υπήρχε καμία παραδοξότητα στην κατεύθυνση του φανταστικού χρόνου, στην οποία οι νόμοι της φυσικής θα κατέρρεαν. Και δεν θα υπήρχαν όρια, για τον φανταστικό χωροχρόνο, όπως δεν υπάρχουν όρια στην επιφάνεια της Γης. Αυτή η απώλεια ορίων σημαίνει ότι οι νόμοι της φυσικής θα καθορίζουν την κατάσταση του σύμπαντος αποκλειστικά, σε φανταστικό χρόνο. Αλλά εάν γνωρίζουμε την κατάσταση του σύμπαντος σε φανταστικό χρόνο, μπορούμε να υπολογίσουμε την κατάσταση του σύμπαντος σε πραγματικό χρόνο. Κάποιος θα μπορούσε ακόμα να περιμένει κάποιο είδος Μεγάλης Έκρηξης παραδοξότητας στον πραγματικό χρόνο. Έτσι ο πραγματικός χρόνος θα είχε ακόμα μια αρχή. Αλλά δεν θα μπορούσε να επικαλεσθεί κάτι έξω από το σύμπαν, προκειμένου να καθορίσει πως άρχισε το σύμπαν. Αντίθετα, ο τρόπος με τον οποίο ξεκίνησε το σύμπαν στη Μεγάλη Έκρηξη θα καθοριζόταν από την κατάσταση του σύμπαντος σε φανταστικό χρόνο. Έτσι, το σύμπαν θα ήταν ένα απόλυτα αυτοτελές/αυτόνομο σύστημα. Δεν θα καθοριζόταν από κάτι έξω από το φυσικό σύμπαν που παρατηρούμε.

Η προϋπόθεση έλλειψης ορίων, είναι δήλωση του ότι οι νόμοι της φυσικής ισχύουν παντού. Ξεκάθαρα, αυτό είναι κάτι που θέλουμε να πιστέψουμε, αλλά είναι μια υπόθεση. Πρέπει να το εξετάσουμε, συγκρίνοντας την κατάσταση του σύμπαντος που προβλέπει η θεωρία, με τις παρατηρήσεις του πως πραγματικά είναι το σύμπαν. Εάν οι παρατηρήσεις διαφωνούσαν με τις προβλέψεις της υπόθεσης των μη ορίων, θα έπρεπε να συμπεράνουμε ότι η υπόθεση θα ήταν λανθασμένη. Θα υπήρχε κάτι εκτός σύμπαντος να ξεκινήσει τον μηχανισμό, και να θέσει το σύμπαν σε λειτουργία. Βέβαια, ακόμα και αν οι παρατηρήσεις συμφωνούν με τις προβλέψεις, δεν αποδεικνύεται ότι η εισήγηση των μη ορίων (no boundary proposal) είναι σωστή. Αλλά η εμπιστοσύνη μας σ' αυτήν θα αυξανόταν, ιδιαίτερα λόγω του ότι δεν φαίνεται να υπάρχει καμία άλλη φυσική θεωρία, για τη κβαντική κατάσταση του σύμπαντος.

Η πρόταση των μη ορίων, προβλέπει ότι το σύμπαν θα ξεκινούσε σε ένα μοναδικό σημείο, όπως ο Βόρειος Πόλος της Γης. Αλλά αυτό το σημείο δεν θα αποτελούσε μια παραδοξότητα, όπως το Big Bang. Αντίθετα, θα ήταν ένα κανονικό σημείο του χώρου και του χρόνου, όπως ο Βόρειος Πόλος είναι ένα κανονικό σημείο στην Γη, από ότι έχω ακούσει. Δεν έχω πάει ο ίδιος εκεί.

Σύμφωνα με την πρόταση των μη ορίων, το σύμπαν θα είχε διασταλεί /επεκταθεί ομαλά από ένα μοναδικό σημείο. Όπως επεκτεινόταν, θα είχε δανειστεί ενέργεια από το βαρυτικό πεδίο, για να δημιουργήσει ύλη. Όπως θα προέβλεπε κάθε οικονομολόγος, το αποτέλεσμα όλου αυτού του δανεισμού, ήταν ο πληθωρισμός/το φούσκωμα. Το σύμπαν επεκτάθηκε και δανείστηκε ενέργεια με ένα συνεχώς

αυξανόμενο ρυθμό. Ευτυχώς, το χρέος της βαρυτικής ενέργειας δεν πρέπει να ξεπληρωθεί πριν το τέλος του σύμπαντος.

Σταδιακά, η περίοδος του πληθωρισμού θα είχε τελειώσει, και το σύμπαν θα είχε κατασταλάξει σε μια κατάσταση πιο συγκρατημένης ανάπτυξης ή επέκτασης. Ωστόσο, ο πληθωρισμός θα είχε αφήσει το σημάδι του στο σύμπαν. Το σύμπαν θα ήταν απόλυτα ομαλό, αλλά με πολύ ανεπαίσθητες ανωμαλίες. Αυτές οι ανωμαλίες είναι τόσο μικρές, ένα προς εκατό χιλιάδες, που για χρόνια οι άνθρωποι τις αναζητούσαν μάταια. Όμως, το 1992, ο δορυφόρος Cosmic Background Explorer – COBE (Εξερευνητής Κοσμικού Υπόβαθρου), βρήκε αυτές τις ανωμαλίες στην Ακτινοβολία Υποβάθρου. Ήταν μια ιστορική στιγμή. Κοιτάξαμε πίσω στις απαρχές του σύμπαντος. Η μορφή των διακυμάνσεων στο μικροκυματικό υπόβαθρο συμφωνεί άμεσα με τις προβλέψεις της θεωρίας των μη ορίων. Αυτές οι πολύ ανεπαίσθητες ανωμαλίες στο σύμπαν θα είχαν επιβάλει σε κάποιες περιοχές να επεκταθούν λιγότερο γρήγορα από άλλες. Τελικά, αυτές θα είχαν σταματήσει να επεκτείνονται και θα είχαν καταρρεύσει προς το κέντρο τους, σχηματίζοντας άστρα και γαλαξίες. Έτσι, η πρόταση των μη ορίων μπορεί να εξηγήσει όλη αυτή τη πλούσια και ποικιλόμορφη δομή του κόσμου στον οποίο ζούμε. Τι προβλέπει η θεωρία των μη ορίων για το μέλλον του σύμπαντος; Λόγω του ότι απαιτεί ότι το σύμπαν είναι πεπερασμένο σε χώρο, όπως και σε φανταστικό χρόνο, υποδηλώνει ότι το σύμπαν θα ξανά-καταρρεύσει σταδιακά. Όμως, δεν θα ξανά-καταρρεύσει για πολύ καιρό ακόμα, πολύ περισσότερο από τα 15 δισεκατομμύρια χρόνια που ήδη διαστέλλεται. Οπότε, θα έχετε χρόνο να ρευστοποιήσετε τα γραμμάτια του δημοσίου, πριν το τέλος του σύμπαντος πλησιάσει. Σε τι θα επενδύσετε τότε, δεν γνωρίζω.

Αρχικά, νόμιζα ότι η κατάρρευση θα είναι ο χρόνος πριν την διαστολή. Αυτό θα σήμαινε ότι το βέλος του χρόνου θα έδειχνε προς την άλλη μεριά στην φάση της συστολής. Οι άνθρωποι θα γίνονταν νεότεροι καθώς το σύμπαν γινόταν μικρότερο. Τελικά, θα εξαφανίζονταν πίσω στη μήτρα.

Ωστόσο, συνειδητοποιώ τώρα ότι έκανα λάθος, όπως δείχνουν αυτές οι λύσεις. Η κατάρρευση δεν είναι ο χρόνος αντίστροφα της διαστολής. Η διαστολή θα ξεκινήσει με μια φάση πληθωρισμού, αλλά η κατάρρευση γενικά δεν θα τελειώσει με μια αντιπληθωριστική φάση. Επιπλέον, οι μικρές παρεκκλίσεις από την ομοιόμορφη πυκνότητα θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται κατά την φάση συστολής. Το σύμπαν θα γίνετε όλο και πιο άμορφο και ακανόνιστο, όσο μικραίνει, και η αταξία θα αυξηθεί. Αυτό σημαίνει ότι το βέλος του χρόνου δεν θα αντιστραφεί. Οι άνθρωποι θα συνεχίσουν να μεγαλώνουν, ακόμα και μετά την αρχή της συστολής του σύμπαντος. Οπότε, μην περιμένετε μέχρι την επανα-κατάρρευση του σύμπαντος για να επιστρέψετε στην νεότητα. Θα την έχετε λιγουλάκι προσπεράσει μέχρι τότε ούτως ή άλλως.

Το συμπέρασμα αυτής της διάλεξης είναι ότι το σύμπαν δεν υπήρχε πάντα. Κατά πάσα πιθανότητα, το σύμπαν, και ο ίδιος ο χρόνος, είχε μια αρχή στο Μεγάλη Έκρηξη, περίπου 15 δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Η αρχή του πραγματικού χρόνου, θα ήταν μια παραδοξότητα, κατά την οποία οι νόμοι της φυσικής θα είχαν καταρρεύσει. Παρόλα αυτά, ο τρόπος με τον οποίο ξεκίνησε το σύμπαν θα είχε καθοριστεί από τους νόμους της φυσικής, εάν το σύμπαν ικανοποιούσε την προϋπόθεση των μη ορίων. Αυτή λέει, ότι στην κατεύθυνση του φανταστικού χρόνου, ο χώρο-χρόνος είναι πεπερασμένος σε έκταση, αλλά δεν έχει κανένα όριο ή άκρη. Οι προβλέψεις της πρότασης των μη ορίων φαίνεται να συμφωνούν με τις παρατηρήσεις. Η υπόθεση των μη ορίων επίσης προβλέπει ότι το σύμπαν σταδιακά θα ξανά-καταρρεύσει. Ωστόσο, η φάση συστολής δεν θα έχει αντίθετο βέλος (φορά) χρόνου, από την φάση διαστολής. Έτσι θα συνεχίσουμε να γερνάμε, και δεν θα επιστρέψουμε στην νεότητα μας. Διότι ο χρόνος δεν πρόκειται να πάει προς τα πίσω, νομίζω. Καλύτερα να σταματήσω τώρα.