

Θεολογία και Θεμελιώδεις Επιστήμες II: Θεολογία και Κοσμολογία

Ιωάννης Π. Ζώης

E-mail: i.zois@exeter.oxon.org

15 Δεκεμβρίου 2009

Η Κοσμολογία είναι ένας τομέας της θεωρητικής (αστρο)φυσικής, σίγουρα ένας από τους πιο δύσκολους και τους πιο ενδιαφέροντες, ο οποίος μελετά το σύμπαν ως σύνολο. Βασίζεται στην Γενική Θεωρία της Σχετικότητας (ΓΘΣ) του A. Einstein, μια θεωρία που εμφανίστηκε το 1915, η οποία περιγράφει τις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις (δυνάμεις) ως φαινόμενα γεωμετρικής φύσης.

Τα πιο σημαντικά ερωτήματα που προσπαθεί να απαντήσει η κοσμολογία είναι δύο:

1. Το σύμπαν δημιουργήθηκε κάποια στιγμή κατά το μακρινό παρελθόν ή υπήρχε ανέκαθεν;
2. Ποια θα είναι η εξέλιξη του σύμπαντος, θα πάψει κάποια στιγμή στο μέλλον να υπάρχει ή θα συνεχίσει να υπάρχει για πάντα;

Λίγα χρόνια μετά την ανακάλυψη της ΓΘΣ, εμφανίστηκαν τα πρώτα κοσμολογικά μοντέλα που βασίζονται σε συγκεκριμένες λύσεις των εξισώσεων πεδίου του Einstein. Τα μοντέλα αυτά απαντούν μόνο στην δεύτερη ερώτηση, δηλαδή περιγράφουν την πιθανή μελλοντική εξέλιξη του σύμπαντος. Γενικά τα μοντέλα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- (α). Αυτά που προβλέπουν πως το σύμπαν θα έχει ένα τέλος,
- (β). Αυτά που προβλέπουν πως το σύμπαν θα υπάρχει για πάντα και

(γ). Αυτά που προβλέπουν πως το σύμπαν θα πάψει κάποια στιγμή να υπάρχει αλλά την αμέσως επόμενη στιγμή θα ξαναγεννηθεί με νέα μορφή (κυκλικά μοντέλα ή παλλόμενο σύμπαν).

Το ποιο από τα τρία παραπάνω θεωρητικά σενάρια είναι το φυσικά ρεαλιστικό εξαρτάται από την συνολική μάζα του σύμπαντος (και συνεπώς, μέσω των εξισώσεων βαρυτικού πεδίου του *Einstein*, από την καμπυλότητά του, οι κοσμολόγοι συνήθως χρησιμοποιούν ως περίπου ισοδύναμη παράμετρο την λεγόμενη σταθερά *Hubble*). Ο υπολογισμός όμως της μάζας του σύμπαντος αποδεικνύεται πως είναι μια διαδικασία που αντιμετωπίζει αξεπέραστες δυσκολίες επί του παρόντος, τόσο θεωρητικές όσο και πειραματικές, παρά την φαιά ουσία και τα χρήματα που έχουν δαπανηθεί.

Όσον αφορά την πρώτη ερώτηση, δεν υπήρχε καμία πρόοδος μέχρι περίπου τις αρχές της δεκαετίας του 1970, όταν οι δύο σημαντικότεροι μαθηματικοί κοσμολόγοι του κόσμου, ο Roger Penrose από το πανεπιστήμιο της Οξφόρδης και ο Stephen Hawking από το πανεπιστήμιο του Κέιμπριτζ, στηριζόμενοι και σε προηγούμενες εργασίες του Βέλγου ρωμαιοκαθολικού ιερέα G.H.J.E. Lemaitre, απέδειξαν το περίφημο *θεώρημα των χωροχρονικών ανωμαλιών (spacetime singularity theorem)* (στην πραγματικότητα πρόκειται για μια ομάδα θεωρημάτων). Με απλά λόγια, αποφεύγοντας τα προχωρημένα μαθηματικά που απαιτούνται, το θεώρημα αυτό λέει ότι:

Εάν η ΓΘΣ είναι σωστή, τότε το σύμπαν (συμπεριλαμβανομένων και του ίδιου του χώρου και του χρόνου) είχε συγκεκριμένη αρχή.

Το θεώρημα διακρίνει δύο είδη χωροχρονικών ανωμαλιών: Την αρχική χωροχρονική ανωμαλία και διάφορες άλλες που αντιστοιχούν στις μελανές οπές (μαύρες τρύπες), ασχολούμαστε με την πρώτη. Αυτό το περίφημο αποτέλεσμα θεωρείται η δεύτερη σημαντικότερη συνεισφορά στην κοσμολογία μετά από αυτή της διατύπωσης της ΓΘΣ από τον A. Einstein το 1915. Ένα πιο εντυπωσιακό όνομα για το θεώρημα αυτό προήλθε από την άλλη πλευρά του Ατλαντικού, είναι η λεγόμενη *θεωρία της μεγάλης έκρηξης (Big-Bang theory)*. Το κρίσιμο ερώτημα συνεπώς είναι *εάν η ΓΘΣ είναι σωστή.*

Μέχρι σήμερα, η ΓΘΣ έχει δοκιμαστεί πειραματικά πολλές φορές και οι θεωρητικές προβλέψεις της συμφωνούν με τα πειραματικά δεδομένα. Μάλιστα το πιο πρόσφατο πειραματικό τεστ της ΓΘΣ έγινε το 1993 από τους R.A. Hulse και J.H. Taylor Jr του πανεπιστημίου του Πρίνστον, οι οποίοι μελετώντας τις περιόδους των τροχιών δίδυμων παλλόμενων ραδιοαστέρων (πάλσαρ, pulsars), βρήκαν πως η συμφωνία μεταξύ των προβλέψεων της ΓΘΣ με τις πειραματι-

κές μετρήσεις φτάνει στην πραγματικά εντυπωσιακή ακρίβεια των 14 δεκαδικών ψηφίων (εκατοντάκις τρισεκατομμυριοστό του δευτερολέπτου)! Για το πείραμά τους αυτό οι εν λόγω πειραματικοί φυσικοί τιμήθηκαν με το βραβείο Νομπέλ φυσικής την ίδια χρονιά, το 1993. Η αλήθεια είναι πως η ΓΘΣ είναι η ακριβέστερη φυσική θεωρία που έχει δημιουργηθεί ποτέ από τους ανθρώπους. (Η δεύτερη ακριβέστερη θεωρία της σύγχρονης φυσικής είναι η κβαντική ηλεκτροδυναμική (περίπου το κομμάτι της ηλεκτρασθενούς δύναμης –βλέπε Σχόλιο στο τέλος του άρθρου– που αντιστοιχεί στον ηλεκτρομαγνητισμό, αυτή είναι μια κβαντική θεωρία), με ακρίβεια μεταξύ θεωρητικών προβλέψεων και πειραματικών δεδομένων που φτάνει στα 11 δεκαδικά ψηφία). Σημειώνουμε πως η θεωρία της μεγάλης έκρηξης υποστηρίζεται και από μια σειρά επιπρόσθετων πειραματικών δεδομένων όπως η κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου (*cosmic microwave background radiation*), η παρατηρούμενη μετατόπιση των φασμάτων εκπομπής των γαλαξιών προς το ερυθρό (γεγονός που υποδηλώνει σύμφωνα με το φαινόμενο Ντόπλερ πως οι γαλαξίες απομακρύνονται μεταξύ τους) κλπ. Ας αναφέρουμε επίσης ότι ο πρώτος που μίλησε για την θεωρία της μεγάλης έκρηξης ήταν μεν ο Λεμέτρ (ο οποίος ανακάλυψε μια συγκεκριμένη λύση των εξισώσεων του Αϊνστάιν που περιγράφουν αυτό το σενάριο) αλλά τα θεωρήματα χωροχρονικών ανωμαλιών είναι πολύ πιο ισχυρά και πιο αυστηρά, ουσιαστικά λένε πως **κάθε** λύση των εξισώσεων του Αϊνστάιν (με πολύ ήπιες προϋποθέσεις που είναι απόλυτα δικαιολογημένες από φυσικής πλευράς) προέρχεται από μια αρχική ανωμαλία (οι εξισώσεις του Αϊνστάιν είναι εξαιρετικά δύσκολες στην επίλυσή τους και μέχρι σήμερα είναι γνωστές μόνο λίγες συγκεκριμένες λύσεις, το θεώρημα των χωροχρονικών ανωμαλιών αφορά όλες τις πιθανές λύσεις, είτε είναι σήμερα (εκπεφρασμένα) γνωστές είτε όχι. Πράγματι πρόκειται για εντυπωσιακό θεώρημα!

[**Σημείωση 1.** Στο συγκεκριμένο άρθρο δεν ασχολούμαστε με την *κβαντική βαρύτητα* και την *κβαντική κοσμολογία*. Αυτοί οι χώροι παρουσιάζουν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον (και ο γράφων έχει ασχοληθεί ερευνητικά με το θέμα), αλλά μέχρι στιγμής δεν υπάρχει συγκεκριμένη θεωρία που ταυτόχρονα να είναι και πειραματικά επιβεβαιωμένη. Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να δει ένα κάπως εκτενές σχόλιο στο τέλος του άρθρου που εμπεριέχει και μια σύντομη ανασκόπηση (*)].

Η ηλικία του σύμπαντος έχει μετρηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους και φαίνεται να υπάρχει συμφωνία πως αυτή είναι περίπου 15 δισεκατομμύρια χρόνια, (ακριβέστερα περί τα 13.7 δισεκατομμύρια χρόνια).

Όμως η φυσική και τα μαθηματικά δεν ασχολούνται με ερωτήσεις του τύπου γιατί δημιουργήθηκε το σύμπαν ή ποιός δημιούργησε το σύμπαν, ασχολούνται

μόνο με το πως λειτουργεί το σύμπαν. Ερωτήσεις σαν τις πρώτες είθισται να θεωρούνται ότι δεν ανήκουν στο χώρο των λεγόμενων φυσικών ή θετικών επιστημών αλλά ανήκουν στον χώρο της μεταφυσικής, της φιλοσοφίας ή της Θεολογίας. Όμως παρά τούτα οι ερωτήσεις αυτές υπάρχουν, δεν μπορεί κάποιος απλά να τις αγνοήσει επειδή δεν ανήκουν - κατά τις κρατούσες συμβάσεις της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας - στον επιστημονικό χώρο και είναι αναμφίβολα ενδιαφέρουσες.

Στο παρόν σύντομο άρθρο θα προσπαθήσουμε να ασχοληθούμε με το ερώτημα *ποιος δημιούργησε το σύμπαν*. Εάν κάνουμε μια δημοσκόπηση (γκάλοπ) ρωτώντας τυχαία διάφορους ανθρώπους στο δρόμο αυτή την ερώτηση, δύο είναι οι πιθανές απαντήσεις που θα λάβουμε: **Ο Θεός και η τύχη**. Η πρώτη απάντηση θεωρείται μη επιστημονική διότι η επιστήμη δεν μπορεί να αποδείξει την ύπαρξη του Θεού αλλά ούτε μπορεί να αποδείξει και την μη ύπαρξη του Θεού. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει πως η απάντηση αυτή είναι λάθος, απλά σημαίνει πως η επιστήμη δεν είναι το κατάλληλο κριτήριο για να την αξιολογήσει. Η δεύτερη απάντηση φαίνεται να εδράζεται σε πιο σταθερό επιστημονικό έδαφος. Θα επιχειρηματολογήσουμε πως στην πραγματικότητα αυτό δεν συμβαίνει. Συνεπώς, επιστημονικά μιλώντας, και οι δύο απαντήσεις είναι περίπου εξίσου μη ικανοποιητικές.

Ο Roger Penrose στο πρόσφατο βιβλίο του "*Road to Reality*" (*Η Οδός προς την Πραγματικότητα*) εξηγεί πως η πιθανότητα το σύμπαν να έχει δημιουργηθεί από τύχη είναι της τάξης του

$$\frac{1}{10^{10^{123}}}$$

[Δεν θα επαναλάβουμε τον υπολογισμό διότι προϋποθέτει γνώση γενικής σχετικότητας, συμπλεκτικής γεωμετρίας και είναι και κάπως μακρύς, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να δει τις παραπομπές στο τέλος]. Ο αριθμός αυτός είναι ο μικρότερος θετικός πραγματικός αριθμός στον οποίο έχει αποδοθεί κάποιο φυσικό νόημα! Ισοδύναμα, ο αριθμός

$$10^{10^{123}}$$

είναι ο μεγαλύτερος θετικός πραγματικός αριθμός στον οποίο έχει αποδοθεί κάποιο φυσικό νόημα μέχρι σήμερα. Ο αριθμός αυτός είναι απίστευτα μεγάλος: Εάν κάποιος προσπαθήσει να τον γράψει αναλυτικά, χωρίς τα διπλά εκθετικά, θα πρέπει να γράψει την μονάδα ακολουθούμενη από 10^{123} μηδενικά. Είναι φυσικά αδύνατον να γραφεί αυτός ο αριθμός αναλυτικά διότι ακόμη και αν υποθέσουμε πως κατορθώνουμε να συγκεντρώσουμε όλη την μάζα του σύμπαντος για να κατασκευάσουμε ένα τεράστιο φύλλο χαρτιού πάνω στο οποίο θα επιχειρήσουμε

να γράψουμε αυτό τον αριθμό και κατορθώσουμε να φτιάξουμε κάποιον φανταστικό στυλό ο οποίος να ζωγραφίζει μηδενικά που να έχουν το μέγεθος ενός κουάρκ, υπάρχουν μόνο 10^{81} κουάρκ και λεπτόνια στο σύμπαν!

[**Σημείωση 2.** Γνωρίζουμε σήμερα ότι η συνήθης ύλη αποτελείται από κουάρκ και λεπτόνια. Τα πρωτόνια στους πυρήνες των ατόμων που είναι θετικά φορτισμένα, αποτελούνται από 3 κουάρκ, όπως και τα νετρόνια, τα οποία είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Τα λεπτόνια, όπως είναι τα ηλεκτρόνια, εμφανίζονται σε 3 γενεές (ηλεκτρόνιο, μιονίο και ταυ μαζί με τα αντίστοιχα νετρίνα) και δεν αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια. Τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο και ίσο κατ' απόλυτη τιμή με αυτό των πρωτονίων. Για να έχουμε ισότητα θετικών και αρνητικών φορτίων στην φύση υποθέτουμε πως έχουμε περίπου ίσο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων. Δεχόμαστε επίσης τον υπολογισμό του μεγάλου αστροφυσικού Eddington πως υπάρχουν περίπου 10^{80} πρωτόνια στο σύμπαν, ίσος αριθμός νετρονίων και ίσος αριθμός ηλεκτρονίων, άρα χονδρικά 6×10^{80} κουάρκ συν 3×10^{80} λεπτόνια (και των τριών γενεών—τα νετρίνα έχουν πολύ μικρή μάζα), άρα έχουμε συνολικά κάπου $9 \times 10^{80} \simeq 10^{81}$ υλικά στοιχειώδη σωματίδια κουάρκ και λεπτόνια, αριθμός πολύ μικρότερος από το 10^{123} ! Δεν ασχολούμαστε με διάφορες μορφές εξωτικής ύλης όπως σκοτεινή ύλη, η σκοτεινή ενέργεια ή τα λεγόμενα "ασωματίδια" (unparticles), διότι υπάρχει μεν το σημαντικό πρόβλημα του ελλείμματος μάζας στην κοσμολογία αλλά και εδώ η κατάσταση είναι σήμερα, επιστημονικά μιλώντας, επίσης ασαφής].

Για να καταλάβουμε το νόημα αυτής της πιθανότητας, ας επιχειρήσουμε να επιλύσουμε το παρακάτω απλό πρόβλημα θεωρίας πιθανοτήτων: Έστω ότι υπάρχει ένα μικρό νησί στο οποίο ζουν μόνο πίθηκοι. Κάποιος ναυαγός που βρέθηκε εκεί βρίσκει μια γραφομηχανή και ένα πάκο από χαρτιά στα οποία είναι γραμμένο το μυθιστόρημα "*Πόλεμος και Ειρήνη*" (που έχει γραφτεί από τον Λέοντα Τολστόι) στα Ελληνικά. Δεν υπάρχει καμία ένδειξη πως υπήρξε ποτέ στο παρελθόν κάποιος άλλος άνθρωπος στο νησί και ο ναυαγός αναρωτιέται ποιος μπορεί να έγραψε το κείμενο. Κατόπιν ωρίμου σκέψεως καταλήγει σε δύο ενδεχόμενα: Είτε κάποιος άλλος άνθρωπος έγραψε το κείμενο ο οποίος δεν άφησε καθόλου ίχνη, είτε οι πίθηκοι έγραψαν το κείμενο πατώντας τα πλήκτρα της γραφομηχανής στην τύχη.

Ας υπολογίσουμε την πιθανότητα να γραφεί το κείμενο από κάποιον που πατά τα πλήκτρα της γραφομηχανής στην τύχη. Το μυθιστόρημα αυτό είναι από τα μεγαλύτερα που έχουν γραφτεί στην παγκόσμια λογοτεχνία: Αποτελείται από περίπου 1000 σελίδες και ας υποθέσουμε πως κάθε σελίδα έχει 100 γραμμές, (περίπου 30 στην πραγματικότητα), κάθε γραμμή έχει 10 λέξεις και πως κάθε λέξη αποτελείται από 10 γράμματα κατά μέσο όρο. Εφαρμόζουμε την

πολλαπλασιαστική αρχή και βλέπουμε πως στο κείμενο υπάρχουν

$$1000 \times 100 \times 10 \times 10 = 10^7 = 10.000.000$$

συνολικά χαρακτήρες. Το ελληνικό αλφάβητο έχει 24 γράμματα αλλά μαζί με τα σημεία στίξης, τα δεκαδικά ψηφία, τα μικρά και κεφαλαία γράμματα κλπ, το πληκτρολόγιο μιας γραφομηχανής ή ενός υπολογιστή έχει περίπου 50 πλήκτρα, για ευκολία ας υποθέσουμε πως είναι 100. Η πιθανότητα να γράψει κάποιος το κείμενο αυτό, δηλαδή αυτή την ακολουθία των 10^7 χαρακτήρων, πατώντας στην τύχη τα πλήκτρα μιας γραφομηχανής με 100 πλήκτρα είναι

$$1/U(100, 10^7) = 1/[(100)^{10^7}] = 1/[(10^2)^{10^7}] = 1/10^{2 \times 10^7} \sim 1/10^{10^8}.$$

Για τον υπολογισμό χρησιμοποιήσαμε διατάξεις με επανάθεση μιας και όταν γράφουμε λέξεις η σειρά των γραμμάτων παίζει ρόλο, συνεπώς χρειαζόμαστε διατάξεις και όχι συνδυασμούς, ενώ κάποια γράμματα μπορεί να επαναλαμβάνονται στην ίδια λέξη οπότε πρέπει να θεωρήσουμε επιλογή με επανάθεση. Ισοδύναμα, μπορεί κάποιος να σκεφτεί και ως εξής: Αφού έχουμε μια ακολουθία 10^7 χαρακτήρων και το πληκτρολόγιο έχει 100 πλήκτρα, η πιθανότητα να επιλέξουμε τον πρώτο χαρακτήρα σωστά είναι $1/100$, η πιθανότητα να επιλέξουμε τον δεύτερο χαρακτήρα σωστά είναι πάλι $1/100$, τα δύο αυτά ενδεχόμενα είναι ανεξάρτητα, συνεπώς η πιθανότητα να επιλέξουμε τον πρώτο και τον δεύτερο χαρακτήρα του κειμένου σωστά είναι $(1/100)^2$ και πρέπει να επαναλάβουμε αυτή τη διαδικασία τόσες φορές όσοι είναι οι συνολικοί χαρακτήρες του κειμένου, δηλαδή η πιθανότητα είναι

$$(1/100)^{10^7} \sim 1/10^{10^8}.$$

Θα πίστευε κανείς πως οι πίθηκοι έγραψαν το μυθιστόρημα;

Η πιθανότητα αυστηρά μιλώντας είναι μη - μηδενική αλλά είναι πολύ μικρή. Η πιθανότητα να δημιουργήθηκε το σύμπαν από καθαρή τύχη είναι **πολύ πολύ μικρότερη**, συγκρίνετε το

$$1/10^{10^8}$$

με το

$$1/10^{10^{123}}.$$

Αυτές οι πιθανότητες είναι αυστηρά μιλώντας μη - μηδενικές αλλά είναι τόσο μικρές που αντιβαίνουν ακόμη και την κοινή λογική.

Η καταληκτική παρατήρηση ας είναι αυτή (που κάνει και μια σύνδεση με το προηγούμενο άρθρο): Στην επιστήμη σήμερα ο Θεός και ό,τι σχετίζεται με Αυτόν θεωρείται μη-επιστημονικό, δηλαδή αντικείμενο μελέτης κάποιου άλλου

γνωστικού αντικειμένου. Αυτό συμβαίνει διότι ως κριτήριο επιστημονικότητας υιοθετείται κυρίως το κριτήριο του Πόπερ που δηλώνει ότι *επιστημονικό είναι οτιδήποτε μπορεί να διαψευσθεί* (έχει χυθεί πολύ μελάνι για την επιλογή της *διαψευσσιμότητας* αντί της *επιβεβαιωσιμότητας*, το πρώτο είναι κάπως πιο γενικό). Η φράση "υπάρχει Θεός" δεν είναι διαψεύσιμη (αλλά ούτε και επιβεβαιώσιμη), άρα μη επιστημονική (βλέπε και το προηγούμενο άρθρο). Εγείρονται όμως νέες ερωτήσεις όπως: *Τι συνιστά απόδειξη; Γιατί να ασχολούμαστε και να θεωρούμε "επιστήμη" μόνο ό,τι ικανοποιεί το εν λόγω κριτήριο;*

Η προσπάθει απάντησης της πρώτης ερώτησης μας φέρει στα θεμέλια των μαθηματικών: Στην *proof theory* (syntax) και στην *model theory* (semantics) και τελικά στα θεωρήματα μη πληρότητας της λογικής του Gödel που αναφέραμε στο προηγούμενο άρθρο. Οι βάσεις των σύγχρονων μαθηματικών είναι *axiomatic set theory*, *proof theory*, *model theory*, και *recursion theory*, τα τρία τελευταία θα μπορούσε κάποιος να τα πει και *formal logic*. Η αξιωματική θεωρία συνόλων (*axiomatic set theory*, ουσιαστικά τα αξιώματα *Fraenkel – Zermelo* συν το αξίωμα επιλογής, γνωστή και ως *ZFC*) βασίζεται στην θεωρία τύπων (*theory of types*) του *B. Russell* (που την απαλλάσσει από τα παράδοξα τύπου Ράσελ). Η θεωρία τύπων βασίζεται σε μια *ενόραση* (*intuition*), το *κενό σύνολο*, και σε ένα *αξίωμα*, την *ύπαρξη του κενού συνόλου*, το αξίωμα είναι μια πρόταση που δεν μπορούμε να την αποδείξουμε αλλά δεχόμαστε ότι ισχύει, δηλαδή είναι μια «πίστη». (Ενοράσεις είναι οι βασικές δομικές μονάδες των μαθηματικών, έννοιες που δεν μπορούν να ορισθούν αλλά απλά υπάρχουν, πχ η έννοια του συνόλου, η έννοια του ανήκει/περιέχει κλπ, συνεπώς τα μαθηματικά μάλλον ανακαλύπτονται παρά κατασκευάζονται, οι περισσότεροι μαθηματικοί ήταν και είναι Πλατωνιστές).

Η δεύτερη ερώτηση τέθηκε και από τον ποντίφικα, τον πάπα Βενέδικτο το 2006 στην γνωστή πια διεθνώς ομιλία του στο πανεπιστήμιο του Ρέγκενσμπουργκ στη Γερμανία όπου μια φράση (από αναφορά, φράση του αυτοκράτορα Μανουήλ Β' Παλαιολόγου σε καταγεγραμμένη συνομιλία με Πέρση μουσουλμάνο διανοούμενο το 1391 και όχι δική του) 'εξόργισε' τους απανταχού μουσουλμάνους και το Βατικανό αναγκάστηκε να ζητήσει επίσημα συγγνώμη. Η ομιλία αυτή αποτελεί ύμνο στο αρχαίο ελληνικό πνεύμα, (κάτι στο οποίο το Βατικανό ομολογουμένως δεν μας έχει συνηθίσει) και σε κάποιο σημείο ο πάπας υποστηρίζει πως το κριτήριο αυτό του Πόπερ αποτελεί έναν αντιπαραγωγικό περιορισμό σχετικά με το τι αποτελεί επιστήμη και τι όχι. Ίσως μια λύση θα ήταν σε μια συζήτηση να αναφέρεται εάν κάποιος ισχυρισμός ικανοποιεί το κριτήριο του Πόπερ ή όχι και μετά ας ακολουθούν τα επιχειρήματα υπέρ ή κατά. Αναμφίβολα υπάρχουν πολύ ενδιαφέρουσες ερωτήσεις που δεν ικανοποιούν το κριτήριο του Πόπερ και για αυτό ασχολούμαστε με αυτές, σε αντίθετη περίπτωση

ση δεν θα συζητούσαμε διότι όπως λέγει και ο *Wittgenstein* στο *Tractatus* "οι προτάσεις των μαθηματικών αποτελούν ταυτολογίες" (ως αποδείξιμες).

Αναφορές:

Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης που είναι εξοικειωμένος με τα αναγκαία μαθηματικά μπορεί να συμβουλευθεί ενδεικτικά τα εξής βιβλία:

- *S.W. Hawking and G.F.R. Ellis: "The Large Scale Structure of Space-time"*, Cambridge University Press, 1980,
- *R. Penrose and W. Rindler: "Spinors and Spacetime"*, Vol. I and II, Cambridge University Press, 1990,
- *R. Penrose: "The Road to Reality"*, Oxford University Press, 2007 (βλ και "The Emperor's New Mind", "Shadows of the Mind" του ιδίου).

(*) **Σχόλιο** (για την κβαντική βαρύτητα και την κβαντική κοσμολογία):

Αγνοώντας σκοτεινή ενέργεια, αντιβαρύτητα και τα συναφή (που είναι και αυτά ασαφή τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά επί του παρόντος), σήμερα δεχόμαστε πως στη φύση υπάρχουν 4 θεμελιώδεις δυνάμεις (αλληλεπιδράσεις) (τις αναφέρουμε αρχίζοντας από τις πιο ασθενείς, δηλαδή αυτές που έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια, και καταλήγουμε στις πιο ισχυρές, δηλαδή αυτές με την μικρότερη εμβέλεια): Βαρυτικές, ηλεκτρομαγνητικές, ασθενείς πυρηνικές και ισχυρές πυρηνικές. Οι δύο μεσαίες έχουν ενοποιηθεί στην λεγόμενη *ηλεκτρασθενή δύναμη* (στάνταρ μοντέλο της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων, από τους *Wineberg, Glashow, Salam* και *Higgs*, βραβείο Νομπέλ φυσικής 1979). Οι αντίστοιχες θεωρίες που έχουμε σήμερα, για την μεν πρώτη (βαρύτητα) είναι κλασική θεωρία, (η ΓΘΣ του Einstein), ενώ για τις υπόλοιπες 2 δυνάμεις, ηλεκτρασθενή και ισχυρή, οι θεωρίες που έχουμε είναι κβαντικές (μη-Αβελιανές κβαντικές θεωρίες βαθμίδας τύπου Yang-Mills), αλλά με διαφορετικό επίπεδο ακρίβειας η καθεμία.

Στην κοσμολογία, τα μέχρι στιγμής πειραματικά δεδομένα συνηγορούν στο λεγόμενο *στάνταρ κοσμολογικό μοντέλο της θερμής μεγάλης έκρηξης μαζί με το πληθωριστικό σενάριο*, αυτή είναι μια κλασική θεωρία (κλασική κοσμολογία): το σύμπαν έχει 4 διαστάσεις (3 χωρικές συν το χρόνο) και είναι ομογενές, ισότροπο και περίπου επίπεδο.

Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή, η κβαντική θεωρία προέκυψε στις αρχές του 20ου αιώνα από πειραματικά δεδομένα που δεν μπορούσαν να ερμηνευθούν στα πλαίσια της κλασικής φυσικής (ακτινοβολία μέλανος σώματος, φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, φάσματα εκπομπής ατόμων, σταθερότητα ατόμων, ερμηνεία

πειραμάτων σκέδασης κλπ). Η χβαντική θεωρία στηρίζεται στην άκρως αντιδιασθητική φυσική αρχή του *δυϊσμού κύματος-σωματιδίου* που λέγει πως τα πεδία συμπεριφέρονται άλλοτε ως κύματα και άλλοτε ως σωματίδια. Η μαθηματική έκφραση αυτού του *δυϊσμού* είναι η περίφημη *σχέση αβεβαιότητας του Heisenberg* (γνωστή και ως *αρχή συμπληρωματικότητας* ή *αρχή της απροσδιοριστίας*) που λέγει ότι δεν είναι δυνατή η μέτρηση της θέσης και της ορμής (ταχύτητας) ταυτόχρονα με απόλυτη ακρίβεια.

Στις βαρυτικές αλληλεπιδράσεις, επί του παρόντος δεν υπάρχει αντίστοιχο κίνητρο για την ανάπτυξη μιας χβαντικής θεωρίας, ανάλογο αυτού που εμφανίστηκε στην αρχή του 20ου αιώνα και αφορούσε την φυσική του μικρόκοσμου και που σύντομα αναφέραμε παραπάνω. Δηλαδή δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα που να δείχνουν πως υπάρχει το σωματίο (χβάντο) του πεδίου βαρύτητας (το γνωστό *βαρυτόνιο*), αλλά δεν έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά (αν και διάφορα πειράματα βρίσκονται σε εξέλιξη επί του παρόντος) ούτε καν η ύπαρξη *βαρυτικών κυμάτων* (που πάντως προβλέπεται και κλασικά από τις εξισώσεις πεδίου του Einstein). Συνεπώς στον *δυϊσμό κύματος-σωματιδίου* της χβαντικής φυσικής του μικρόκοσμου, στην περίπτωση της βαρύτητας, δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή πειραματικά επιβεβαιωμένο ούτε το σωματίο ούτε το κύμα. Παρά ταύτα, υπάρχουν κάποια γενικά επιχειρήματα τα οποία υποδηλώνουν πως και οι βαρυτικές δυνάμεις θα πρέπει να είναι χβαντισμένες και η χβάντωση του πεδίου βαρύτητας θεωρείται το σημαντικότερο ανοικτό πρόβλημα της θεωρητικής φυσικής σήμερα. Τα επιχειρήματα αυτά ξεκινούν μάλλον από μαθηματικούς συλλογισμούς, όπως για παράδειγμα από την ανάγκη *μαθηματικής συνέπειας* των εξισώσεων πεδίου της ΓΘΣ (P.A.M. Dirac) αλλά και την ανάγκη *εξάλειψης των ανωμαλιών* (που σχετίζεται άμεσα με την πρόταση μη ύπαρξης συνόρου (no boundary proposal) των Hartle-Hawking για παράδειγμα). Σημειώνουμε εδώ πως η μαθηματική αφετηρία μιας φυσικής θεωρίας δεν πρέπει καθόλου να υποβαθμίζεται, άλλωστε και η ίδια η ΓΘΣ (που είναι η ακριβέστερη φυσική θεωρία που υπάρχει σήμερα και μάλιστα είναι κλασική θεωρία), δεν ξεκίνησε από πειραματικά δεδομένα. Υπάρχουν και άλλα επιχειρήματα που συνηγορούν στην ύπαρξη χβαντικής βαρύτητας, όπως για παράδειγμα προβλήματα συμβατότητας μεταξύ των θεωριών του μικρόκοσμου και του μέγακοσμου (ειδικότερα θέματα που αφορούν την εντροπία και το βέλος του χρόνου) αλλά και *αισθητικά* επιχειρήματα.

Από θεωρητικής σκοπιάς, η χβάντωση του πεδίου βαρύτητας εμφανίζει ακόμη μεγαλύτερα προβλήματα, κατ' αρχή εννοιολογικά (χβάντωση όχι μόνο του βαρυτικού πεδίου αλλά ίσως και του χωρόχρονου του ιδίου—υπενθυμίζουμε εδώ πως στην συνήθη χβαντική θεωρία οι τελεστές θέσης και ορμής έχουν συνεχές φάσμα οπότε δεν υπάρχει πρόβλημα με το κλασικό συνεχές του χώρου και του χρόνου) αλλά και μαθηματικά, για παράδειγμα όλες οι προσπάθειες άρσης των

απειρισμών με ταυτόχρονη διατήρηση της μοναδιακότητας του μετρικού τανυστή αποτυγχάνουν (βλέπε Fadeev-Popov trick, BRST-συνομολογία, διαστατική κανονικοποίηση *t'Hooft – Veltman* κλπ, προσδοκίες όμως έχει δημιουργήσει πρόσφατα η λαμπρή εργασία των Connes-Krimer για την ανάλυση Birkhoff και το πρόβλημα *Riemann – Hilbert*), δεν έχει βρεθεί δηλαδή μια επιτυχής μέθοδος κανονικοποίησης και άρα η πιθανοθεωρητική-στατιστική ερμηνεία που αποτελεί κομβικό κομμάτι της κβαντικής θεωρίας όπως την ξέρουμε δεν υφίσταται καν). Κάποιες παραλλαγές που εμφανίστηκαν κατά τη δεκαετία 1990 (αλλά και πιο πρόσφατες μετεξελίξεις), σαν την κβαντική βαρύτητα βρόγχων όπου επιχειρείται η κβάντωση της συνοχής (δυναμικό) και όχι του μετρικού τανυστή (πεδίο), παρά τις κάποιες σχετικές αρχικές επιτυχίες αντιμετώπισαν και αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα.

Η μόνη επιτυχία στην προσπάθεια συγκερασμού κβαντικής θεωρίας και ΓΘΣ μέχρι σήμερα είναι η κβαντομηχανική των μελανών οπών του Hawking που καλύπτει θέματα που αφορούν την εντροπία μελανών οπών και την ακτινοβολία Hawking. Η θεωρία που υπάρχει είναι ικανοποιητική τουλάχιστον από μαθηματικής πλευράς αλλά ούτε εδώ υπάρχουν διαθέσιμες παρατηρήσεις του φαινομένου.

Υπάρχει και μια άλλη βασική (αλλά κάπως έμμεση) προσέγγιση της κβαντικής βαρύτητας, αυτή της θεωρίας υπερχορδών: Στην θεωρία υπερχορδών (και στην σύγχρονη γενίκευσή της που λέγεται *M-Θεωρία* και που περιλαμβάνει εκτός των χορδών και άλλα εκτεταμένα αντικείμενα μεγαλύτερης διάστασης, τις μεμβράνες αλλά και την θεωρία της λεγόμενης υπερβαρύτητας), ουσιαστικά ελπίζει κάποιος να ενώσει όλες τις δυνάμεις και ταυτόχρονα να κανονικοποιήσει και την κβαντική βαρύτητα υποθέτοντας πως τα στοιχειώδη σωματίδια δεν είναι σημειακά αλλά μονοδιάστατες γεωμετρικές οντότητες, οι λεγόμενες χορδές με μήκος της τάξης 10^{-33} εκατοστών. Η μαθηματική συνέπεια στη συνέχεια επιβάλλει την ύπαρξη κάποιας ευρύτερης συμμετρίας, της λεγόμενης υπερσυμμετρίας αλλά η παραδοχή αυτή συνεπάγεται (μαζί με πολλά άλλα) την ύπαρξη επιπλέον χωρικών διαστάσεων αλλά και μια πληθώρα νέων σωματιδίων, (που προκύπτουν από τις ταλαντώσεις χορδών και μεμβρανών με τον ίδιο τρόπο που χορδές και επιφάνειες παράγουν ήχους στα μουσικά όργανα), κανένα από τα οποία δεν έχει μέχρι στιγμής παρατηρηθεί. Οι επιπλέον διαστάσεις επίσης δημιουργούν με τη σειρά τους νέα μαθηματικά προβλήματα που αφορούν συμπαγοποιήσεις πολλαπλοτήτων κλπ (καθότι είμαστε βέβαιοι από την ΓΘΣ ότι τουλάχιστον η μακροσκοπική διάσταση του σύμπαντος είναι 4, για παράδειγμα στην θεωρία υπερχορδών έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα περί τις 10^{500} πιθανές συμπαγοποιήσεις, καθεμιά αντιστοιχεί σε μια επιλογή βασικής κατάστασης του σύμπαντος, ένας ανησυχητικά μεγάλος αριθμός). Σαν να μην έφταναν τα παραπάνω, πρόσφατα ο Roger Penrose στο βιβλίο του "*Ο Δρόμος προς την Πραγματικότητα*"

αναφέρει ένα επιχείρημα σύμφωνα με το οποίο φυσικές θεωρίες που ορίζονται σε περισσότερες από 3 χωρικές διαστάσεις παρουσιάζουν αναπόφευκτη αστάθεια και καταρρέουν σε χωροχρονικές ανωμαλίες. Απόρροια της Μ-Θεωρίας είναι το λεγόμενο πολύ πρόσφατο εκφυριστικό κοσμολογικό μοντέλο που είναι ένα κυκλικό μοντέλο.

Εκτός από την θεωρία υπερχορδών όμως υπάρχει και η λεγόμενη συστροφική γεωμετρία του R. Penrose που και αυτή επιχειρεί να κβαντώσει το πεδίο βαρύτητας και να ενώσει όλες τις φυσικές δυνάμεις. Η συστροφική γεωμετρία βασίζεται στην μιγαδική προβολική γεωμετρία. Και αυτή με τη σειρά της εμφανίζει τα δικά της προβλήματα, κυρίως μαθηματικά, που αφορούν διαταραχές μιγαδικών δομών πολλαπλοτήτων κλπ. Υπάρχουν τέλος και συνδυασμοί των δύο προσεγγίσεων όπως η συστροφική θεωρία υπερχορδών (των R. Penrose, E. Witten) καθώς και διάφορες παραλλαγές αυτών, ίσως η πιο ενδιαφέρουσα είναι αυτή που ενσωματώνει ιδέες από την μη-μεταθετική γεωμετρία (μη-μεταθετική θεωρία υπερχορδών των A. Connes, E. Witten, αυτή η τελευταία αποτελεί και έναν από τους τομείς έρευνας και εφαρμογών του γράφοντος). Θα πρέπει όμως να αναφέρουμε πως τους τελευταίους μήνες υπήρξαν κάποια πειραματικά δεδομένα που συνηγορούν πως η αρχή της ολογραφίας του (ίσως μεγαλύτερου εν ζωή) θεωρητικού φυσικού Ολλανδού *G.'tHooft* (βραβείο Νόμπελ 1999, η οποία αποτελεί γενίκευση της κβανομηχανικής μελανών οπών του *Hawking*), ίσως επιβεβαιωθεί πειραματικά (το μεγάλο πλεονέκτημα της ολογραφίας είναι πως διατηρεί το πλήθος των διαστάσεων στο 4 και δεν χρειάζεται επιπλέον διαστάσεις όπως οι υπερχορδές και η συστροφική γεωμετρία). Νομίζουμε αναφέραμε αρκετά για να υποστηρίξουμε τον ισχυρισμό μας και σταματάμε εδώ.]

Ιωάννης Π. Ζώης
Μαθηματικός Φυσικός (*M.Sc Cantab, D.Phil Oxon*)
E-mail: i.zois@exeter.oxon.org
<http://ipzoiscience.googlepages.com/home>