

Ένας αυτοκράτορας στην Αθήνα

Ο Roger Penrose μιλά στο Quantum

Ο καθηγητής Roger Penrose βρέθηκε στην Αθήνα στις 16 Μαΐου, με αφορμή την έκδοση στη χώρα μας του βιβλίου του *The Emperor's New Mind* από τις εκδόσεις Γκοβόστη. [Στα ελληνικά το βιβλίο κυκλοφόρησε με τον τίτλο *Ο νέος Αυτοκράτορας* (:).] Με την ευκαιρία αυτή δέχτηκε μετά χαράς να μιλήσει στον Γιώργο Ευαγγελόπουλο τόσο για το βιβλίο του όσο και για τις απόψεις του για την επιστήμη και τις προοπτικές της.

Ερ.: Καθηγητά Penrose, για όλους εκείνους που γνωρίζουν την επιστημονική εργασία και τα προηγούμενα βιβλία σας στο χώρο της μαθηματικής φυσικής, το *The Emperor's New Mind* (Η καινούργια νόηση του Αυτοκράτορα) αποτέλεσε έκπληξη. Το βιβλίο είναι μια σφοδρή επίθεση κατά της ισχυρής τεχνητής νοημοσύνης και στοχεύει να δείξει πως υπάρχουν κάποιες όψεις της ανθρώπινης νόησης που δεν είναι δυνατό να προσομοιωθούν από τις υπολογιστικές μηχανές. Πώς αποφασίσατε να γράψετε ένα βιβλίο με αυτό το θέμα, και γιατί διαλέξατε τον συγκεκριμένο τίτλο;

Απ.: Για πολύ καιρό σχεδίαζα να γράψω ένα εκλαϊκευτικό βιβλίο. Σκεφτόμουν ότι έτσι θα μπορούσα να εξηγήσω κάποια επιστημονικά θέματα και να αποσαφηνίσω τη φιλοσοφική μου άποψη. Ο λόγος όμως για τον οποίο έγραψα αυτό το βιβλίο προέκυψε όταν, παρακολουθώντας ένα τηλεοπτικό πρόγραμμα με θέμα την τεχνητή νοημοσύνη, όπου επιστήμονες όπως ο Marvin Minsky εξέφραζαν ακραίες θέσεις, ένιωσα ότι η δική μου άποψη δεν είχε εκφραστεί ποτέ. Μου φάνηκε, λοιπόν, ότι είχα να πω κάτι σημαντικό, και γι' αυτό έγραψα το βιβλίο. Τον τίτλο τον σκέφτηκα αρκετά νωρίς. Πρόκειται για το γνωστό παραμύθι με τα καινούργια ρούχα του αυτοκράτορα, του Hans Chris-

tian Andersen, όπου οι δόλιοι ράφτες υποκρίνονται ότι μπορούν να υφάνουν, με το χρυσάφι που τους δόθηκε, κάποια υπέροχη φορεσιά, την οποία θα μπορούσαν να δουν μόνο όσοι ήταν καλοί, τίμιοι και άξιοι. Έτσι, κανείς δεν θα παραδεχόταν ότι δεν υπάρχει καμία φορε-

σιά. Αυτή η ιστορία θυμίζει την εικόνα που έχει παρουσιαστεί για την τεχνητή νοημοσύνη. Δηλαδή, ενώ εκεί δεν υπάρχει καθόλου νόηση, ακόμη και όσοι το γνωρίζουν θα έπρεπε να δεχτούν το αντίθετο, επειδή κάποιοι άλλοι το υποστηρίζουν.

Ερ.: Στο βιβλίο σας εξετάζετε τι μπορούν να μας πουν τα μαθηματικά και η φυσική για το πώς λειτουργεί η νόηση, τι δεν μπορούν να μας πουν και τι πρέπει να γνωρίζουμε για να αντιληφθούμε τις φυσικές διαδικασίες της συνείδησης. Η επιχειρηματολογία σας περιλαμβάνει δύο μέρη: στο πρώτο προσπαθείτε να δείξετε ότι ο άνθρωπος μπορεί να νικήσει κάθε μηχανή, λύνοντας ένα πρόβλημα ή αποδεικνύοντας ένα θεώρημα το οποίο η μηχανή αδυνατεί

να λύσει ή να αποδείξει. Στο δεύτερο μέρος περιγράφετε πώς η κβαντική θεωρία παρέχει μια πιθανή εξήγηση για όσα εκθέτετε στο πρώτο μέρος. Θα θέλατε να εξηγήσετε στους αναγνώστες του *Quantum* πώς φτάσατε σ' αυτό το συμπέρασμα;

Ο μεγάλος θεωρητικός φυσικός Roger Penrose γεννήθηκε το 1931. Σπούδασε στο University College του Λονδίνου και στο Πανεπιστήμιο του Καίμπριτζ. Από το 1973 είναι καθηγητής μαθηματικών στην έδρα Rouse Ball του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης. Αρχικά ασχολήθηκε με την αλγεβρική γεωμετρία. Το έργο του στο χώρο της γενικής σχετικότητας είναι πολύ σημαντικό, διότι το αμιγώς μαθηματικό υπόβαθρο της σκέψης του τον οδήγησε σε μια προσέγγιση που διέφερε από όσες είχαν υιοθετηθεί ως τότε. Αξίζει να αναφερθεί ιδιαίτερα η εξαιρετικά γόνιμη συνεργασία του με τον κορυφαίο αστροφυσικό Stephen Hawking, μαζί με τον οποίο απέδειξε τα θεωρήματα της ύπαρξης των χωροχρονικών ανωμαλιών και αποκάλυψε πολλές από τις ιδιότητες μιας μαύρης τρύπας. Πιο πρόσφατα, ασχολήθηκε με τη διατύπωση της θεωρίας των twistors, η οποία προσφέρει μια νέα και πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την κβάντωση του χωρόχρονου. Στο εύρος των ενδιαφερόντων του, όμως, περιλαμβάνονται και τα ψυχαγωγικά μαθηματικά. Έτσι, επινόησε, αρχικά για παιχνίδι, την πλακόστρωση Penrose, που εκ των υστέρων αποδεικνύεται ότι αποτελεί μια ιδέα η οποία προεκτείνεται στην κρυσταλλογραφία, διανοίγοντας νέες προοπτικές. Το ακαταπρόσβλητο ερευνητικό του ενδιαφέρον στράφηκε, κατά τα τελευταία χρόνια, και στην τεχνητή νοημοσύνη, η οποία είναι το θέμα του πρόσφατου βιβλίου του *The Emperor's New Mind*. Το 1988 τιμήθηκε, μαζί με τον Stephen Hawking, με το Βραβείο Wolf, για τη συμβολή του στην κατανόηση του σύμπαντος.

Απ.: Χρησιμοποιώ την κβαντική θεωρία ως «αρνητικό» επιχείρημα για να στηρίξω όσα εκθέτω στο πρώτο μέρος. Το επιχείρημα αυτό αποδεικνύει ότι, χρησιμοποιώντας τη νόησή μας, κάνουμε κάτι «μη υπολογιστικό», κάτι διαφορετικό από αυτό που μπορεί να κάνει ένας υπολογιστής. Δεν υιοθετώ βεβαίως την άποψη πως υπάρχει κάτι πέρα από τη συνηθισμένη υλική ύπαρξη, κάτι διαφορετικό στον τρόπο συμπεριφοράς της ύλης από τον τρόπο συμπεριφοράς ενός υπολογιστή. Ωστόσο, μπορεί να είναι κάτι πολύ αδιόρατο. Αν εξετάσουμε τη γνωστή επιστήμη, και πρώτα απ' όλα την κλασική επιστήμη, που περιλαμβάνει τη νευτώνεια μηχανική, διαπιστώνουμε ότι η ύλη συμπεριφέρεται μ' έναν τρόπο που είναι ουσιαστικά «υπολογισμός». Θα μπορούσε δηλαδή να «εισαχθεί» σε έναν υπολογιστή. Αυτό αληθεύει και για την κβαντική μηχανική, αν παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά της ύλης σε μικροσκοπικό επίπεδο. Υπάρχει όμως ένα παράξενο, μυστηριώδες χαρακτηριστικό στον τρόπο με τον οποίο η συμπεριφορά της ύλης σε μικροσκοπικό επίπεδο συσχετίζεται με τη συμπεριφορά της σε μακροσκοπικό επίπεδο. Πρόκειται για το γνωστό στην κβαντική θεωρία «πρόβλημα της μέτρησης». Δεν έχουμε απλώς πολλά μικρά πράγματα τα οποία προσθέτουμε για να πάρουμε ένα μεγάλο πράγμα. Συμβαίνει κάτι εντελώς διαφορετικό, σ' ένα συγκεκριμένο επίπεδο κλίμακας. Και κανένας δεν το καταλαβαίνει πραγματικά. Αυτό που λέω εγώ είναι ότι εδώ ακριβώς υπεισέρχεται η «μη υπολογιστική» φυσική.

Ερ.: Αυτό είναι το θέμα της επόμενης ερώτησής μου. Στο βιβλίο σας υποστηρίζετε ότι υπάρχει ένα σημαντικό κενό στη γνώση, στο σημείο όπου συναντιούνται η κλασική και η κβαντική φυσική. Θά 'θελα να συνδέσω αυτό με μια άλλη σημαντική παρατήρησή σας. Στην κριτική που γράψατε για το βιβλίο *Dreams of a Final Theory*

(Όνειρα για μια τελική θεωρία) του Weinberg στο *The New York Review of Books* επισημαίνετε ότι «καμία θεωρία δεν θα μπορέσει να είναι "τελική", αν δεν ενσωματώσει σημαντικές αλλαγές του υπάρχοντος πλαισίου της κβαντικής θεωρίας». Αυτό σημαίνει ότι δεν πιστεύετε πως βρισκόμαστε κοντά σε μια μεγάλη ενοποιημένη θεωρία; Γιατί δεν εμπιστεύεστε τη θεωρία των υπερχορδών, αλλά ούτε και την περίφημη θεωρία των twistors, που α-

ποτελεί τη δική σας προσπάθεια τις δύο τελευταίες δεκαετίες να εξερευνήσετε έναν χώρο βαθύτερο από αυτόν των σωματιδίων και των πεδίων της κβαντικής μηχανικής;

Απ.: Η θεωρία των υπερχορδών, αλλά και κάθε άλλη σοβαρή σχετική θεωρία, οι υπάρχουσες θεωρίες της κβαντικής βαρύτητας ή η θεωρία των twistors, την οποία αναφέρατε, έχουν όλες ένα κοινό χαρακτηριστικό: δέχονται απλώς την κβαντική θεωρία στην παρούσα μορφή της. Αν όμως εξετάσετε αυτό που μας λείπει η κβαντική θεωρία στην παρούσα μορφή της για την ύλη σε μακροσκοπικό επίπεδο, θα διαπιστώσετε κάτι παράδοξο, το οποίο πολλοί προσπαθούν να άρουν. Έχω παρακολουθήσει την ευρεία συζήτηση που γίνεται γι' αυτό το θέμα. Αν όμως εξετάσετε προσεκτικά τα πράγματα, θα παρατηρήσετε ότι ουδέποτε παρέχεται μια εξήγηση για το λόγο για τον οποίο δεν έχουμε αντικείμενα μεγάλης κλίμακας που να βρίσκονται ταυτόχρονα και στη μία και στην άλλη κατάσταση, κάτι που θα αποτελούσε συνέπεια της καθιερωμένης κβαντικής θεωρίας (το παράδειγμα που αναφέρεται συνήθως είναι η γάτα του Schrödinger). Δεν διαπιστώνουμε όμως κάτι τέτοιο· πρόκειται για έναν παραλογισμό. Αυτό που λέω εγώ, λοιπόν, είναι ότι πρέπει να υπάρξει μια αλλαγή στην κβαντική θεωρία όσον αφορά τα αρκετά μεγάλα αντικείμενα. Ως εκ τούτου, πιστεύω ότι καμία από τις σοβαρές θεωρίες που έχουμε δει ως τώ-

ρα δεν είναι μια πιθανή τελική θεωρία. Δεν πιστεύω στις υπερχορδές, ούτε σε ό,τι άλλο έχει προταθεί προς αυτή την κατεύθυνση. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες ιδέες που τις έχουν προτείνει διάφοροι για την τροποποίηση της κβαντικής μηχανικής, και οι οποίες μπορεί να αποτελέσουν την αφετηρία για την εξέλιξη που τελικά χρειαζόμαστε.

Ερ.: Πιστεύετε ότι η επιστήμη θα κατορθώσει τελικά να κατανοήσει τον εγκέφαλο και τη νόηση; Και, σε συνάρτηση με αυτό, ποιο είναι το νόημα της σημερινής έρευνας στην τεχνητή νοημοσύνη; Ποιες προοπτικές βλέπετε να υπάρχουν σ' αυτόν τον επιστημονικό τομέα;

Απ.: Η ερώτηση σχετικά με το αν η επιστήμη θα κατανοήσει τις λειτουργίες του εγκεφάλου και τη νόηση είναι μια δύσκολη ερώτηση. Δεν βλέπω όμως γιατί δεν θα μπο-



Φωτογραφία: Στέφανος Γεωργιάδης/Ανατολή

ρέσει. Δεν γνωρίζουμε βεβαίως ακόμη τι συμβαίνει ακριβώς. Και νομίζω πως αυτά βρίσκονται σχετικά πέρα από τις παρούσες έννοιες της επιστήμης. Θα πρέπει να αλλάξουμε τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε την επιστήμη και την πραγματικότητα. Νομίζω ότι θα συμβούν σημαντικές αλλαγές σ' αυτό το σημείο, πριν υπάρξει οποιαδήποτε πραγματική κατανόηση της νοητικής λειτουργίας. Ως προς το δεύτερο ερώτημά σας, θεωρώ ότι η τεχνητή νοημοσύνη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, με δύο τρόπους. Από τη μια, έχει έναν «αρνητικό» ρόλο, αφού μας δείχνει ποιοι είναι οι περιορισμοί μιας αμιγώς υπολογιστικής προσέγγισης. Έτσι, νομίζω ότι είναι σημαντικό να προχωρήσουμε και να δούμε ως πού μπορούμε να φτάσουμε, να καταλάβουμε πού βρίσκονται τα όρια. Από την άλλη, και μόνο από τεχνολογική άποψη η τεχνητή νοημοσύνη είναι σημαντική, διότι στα πλαίσια αυτής της έρευνας κατασκευάζονται συσκευές που μπορούν να παίξουν σπουδαίο ρόλο, ο οποίος δεν εξαρτάται από το αν θα καταλάβουμε τι είναι η νόηση (αυτό είναι άλλο θέμα). Δεν θέλω λοιπόν να πω ότι η έρευνα στην τεχνητή νοημοσύνη είναι χαμένος χρόνος. Αυτό που επισημαίνω είναι ότι η εν λόγω έρευνα έχει αξία γι' αυτούς τους δύο λόγους. Σκέφτομαι ότι ο πρώτος λόγος δεν χαροποιεί τους επιστήμονες της τεχνητής νοημοσύνης, αλλά νομίζω ότι τον δεύτερο λόγο θα τον θεωρήσουν ως ένα σημαντικό μέρος της δουλειάς τους.

Ερ.: Ο καθηγητής Barr, στην κριτική που έγραψε για το βιβλίο σας στο *American Mathematical Monthly*, λέει ότι ξεπλάγη από την επιτυχία που σημείωσε και παρατηρεί ότι αυτή η επιτυχία ανατρέπει τον ισχυρισμό που διαβάζουμε στο *Χρονικό του Χρόνου* του Stephen Hawking, ότι δηλαδή κάθε μαθηματικός τύπος που υπάρχει σ' ένα βιβλίο μειώνει τις πωλήσεις του στο μισό. Εσείς πώς εξηγείτε την επιτυχία του βιβλίου σας;

Απ.: Άλλη μια δύσκολη ερώτηση! Πιστεύω ότι εν μέρει οφείλω αυτή την επιτυχία στον Hawking, γιατί το δικό του βιβλίο πούλησε πολλά αντίτυπα, και έτσι το κοινό ήθελε να δει τι έχει να πει και κάποιος άλλος. Νομίζω όμως ότι δεν είναι αυτός ο βασικός λόγος. Δεν δέχομαι ότι οι εξισώσεις αποθαρρύνουν απαραίτητως το κοινό. Άλλωστε, στον πρόλογο του βιβλίου μου προτείνω στον αναγνώστη να μη διαβάσει τις εξισώσεις, όπου κάτι τέτοιο το βρίσκει δύσκολο. Έχω την αίσθηση ότι κρίσιμο σημείο, όσον αφορά την κατανόηση, είναι το γεγονός ότι συχνά, όταν παρέχονται εξηγήσεις για κάποιο θέμα, οι άνθρωποι οπισθοχωρούν εν όψει της πραγματικής εξήγησης: έτσι όμως δυσχεραίνεται η κατανόηση. Αν θέλει κάποιος να μάθει τι συμβαίνει και του δώσεις μια απλοϊκή απάντηση, η οποία είναι κατά κάποιον τρόπο «κοροϊ-

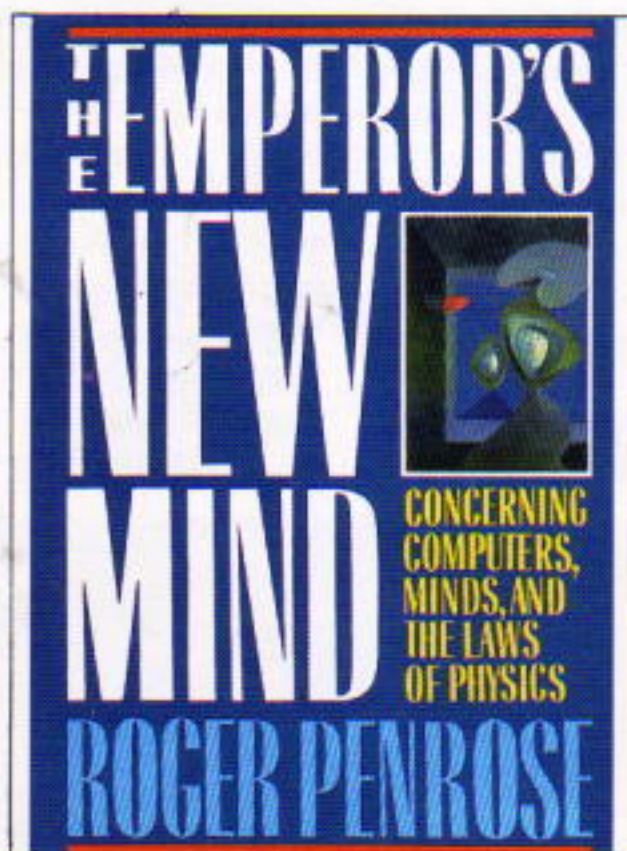
δία», το αποτέλεσμα είναι χειρότερο. Ως εκ τούτου, νομίζω ότι είναι σημαντικό να προσπαθείς να εξηγήσεις τα πράγματα, εάν μπορείς. Το βιβλίο μου φαίνεται ελαφρώς τεχνικό, αλλά προσπαθώ να εξηγήσω τι συμβαίνει όσο σαφέστερα γίνεται. Νομίζω ότι οι αναγνώστες εκτίμησαν αυτήν την προσπάθεια, και ίσως αγόρασαν το βιβλίο επειδή σκέφτηκαν ότι θα είχαν την ευκαιρία να εμβαθύνουν και να κατανοήσουν θέματα διαφόρων επιστημονικών τομέων.

Ερ.: Ας μιλήσουμε τώρα για την επιστημονική σας πορεία. Αρχικά ασχοληθήκατε με την αλγεβρική γεωμετρία. Πώς ενδιαφερθήκατε για τη γενική σχετικότητα; Γνωρίζω ότι το ενδιαφέρον σας για τη σύμμορφη (conformal) γεωμετρία σας οδήγησε να μελετήσετε τις ιδιότητες

των σχέσεων αιτιότητας μεταξύ σημείων του χωρόχρονου. Είναι αυτός ο τρόπος με τον οποίο καταλήξατε στα θεωρήματα για την ύπαρξη ανωμαλιών στο χωρόχρονο, τα οποία αποτελούν τις πιο σημαντικές προβλέψεις της γενικής σχετικότητας, αφού φαίνεται να συνεπάγονται ότι ο χωρόχρονος έχει αρχή ή τέλος; Θα θέλατε να μας μιλήσετε για τη συνεργασία σας με τον Stephen Hawking;

Απ.: Νομίζω ότι το ενδιαφέρον μου για τη φυσική προϋπήρχε της εργασίας μου στην αλγεβρική γεωμετρία για το διδακτορικό δίπλωμα. Ακολούθησα όμως αυτή τη διαδρομή γιατί ήταν πιο άνετη για μένα, αφού η γεωμετρία μου φαινόταν πιο εύκολη. Ωστόσο, πάντοτε ενδιαφερόμουν για τις λειτουργίες του φυσικού κόσμου. Σκέφτομαι λοιπόν

ότι ακόμη και σ' εκείνο το στάδιο είχα την αίσθηση ότι αργότερα θα έστρεφα το ενδιαφέρον μου σε περισσότερες από μία κατευθύνσεις. Πρέπει εδώ να πω ότι περισσότερο από οποιονδήποτε άλλον, ο συνάδελφός μου Dennis Sciama με έφερε κοντά στη φυσική και συνέβαλε στην ανάπτυξη του ενδιαφέροντός μου για τη γενική σχετικότητα. Ωστόσο, σε αρκετά πρώιμο στάδιο ενδιαφέρθηκα για τη γενική σχετικότητα εν μέρει επειδή ήταν γεωμετρία. Γεωμετρία και φυσική! Ενδιαφέρθηκα και για την κβαντική θεωρία, αλλά αυτή δεν ήταν τόσο «γεωμετρική», ήταν μάλλον σαν μια λογική εικόνα του κόσμου, την οποία όμως δεν μπορούσα να προσεγγίσω εύκολα (και ακόμη δεν μπορώ... για μένα είναι ένα πρόβλημα). Η σχετικότητα όμως ήταν κάτι που μπορούσα να συλλάβω ευκολότερα. Ο Dennis Sciama μου πρότεινε να παρακολουθήσω μια διάλεξη του David Finkelstein στο Λονδίνο. Θυμάμαι ότι μίλησε για τις ανωμαλίες στη λύση Schwarzschild και για το πώς μπορεί κάποιος να εξαλείψει τις ανωμαλίες πάνω σ' αυτό που ονομάζουμε ορίζοντα γεγονότων μιας μαύρης τρύπας, ενώ δεν μπορεί να εξαλείψει την πραγματική ανωμαλία που βρίσκεται στο κέντρο της, όπου η καμπυλότητα τείνει στο άπειρο. Άρχισα να αναρωτιέμαι και προσπάθησα να διαπιστώσω αν



οι ανωμαλίες ήταν αναπόσπαστο στοιχείο αυτού που συνέβαινε. Εκείνη την εποχή δεν είχα πραγματική γνώση, και οπωσδήποτε δεν είχα κατανοήσει επαρκώς τη σύμμορφη γεωμετρία. Εντούτοις, το πρόβλημα με ενδιέφερε ακόμη και πριν ενδιαφερθώ σοβαρά για τη γενική σχετικότητα. Η σύμμορφη γεωμετρία με ενδιέφερε και για άλλον ένα λόγο, που σχετιζόταν με τη βαρυτική ακτινοβολία κ.λπ. Έτσι, οι τεχνικές που ανέπτυξα τότε αποδείχτηκαν χρήσιμες για το πρόβλημα των ανωμαλιών. Με ρωτήσατε για τον Hawking. Το 1964, απέδειξα ένα θεώρημα για τις ανωμαλίες και τις μαύρες τρύπες, και έδωσα μια διάλεξη με αυτό το θέμα στο Λονδίνο, την οποία παρακολούθησε ο Stephen Hawking. Ο Stephen τότε ήταν στο πρώτο έτος των μεταπτυχιακών του σπουδών και εργαζόταν υπό την επίβλεψη του Dennis Sciama· η διάλεξή μου του έδωσε το ερέθισμα να εργαστεί σ' αυτόν τον τομέα. Λίγο αργότερα, πήγα στο Καίμπριτζ καιμίλησα με τον ίδιο και με τον συνεργάτη του George Ellis. Ο Hawking κατέληξε σε μερικά αποτελέσματα. Αργότερα, οι δυο μας από κοινού αποδείξαμε τα πιο σημαντικά από τα θεωρήματα, και δημοσιεύσαμε μια εργασία στη Βασιλική Εταιρεία του Λονδίνου.

Ερ.: Από το 1973 κατέχετε την έδρα Rouse Ball στο Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης. Ο Rouse Ball έγραψε το κλασικό για τον τομέα των ψυχαγωγικών μαθηματικών έργο *Mathematical Recreations and Essays*. Και εσείς όμως χαρακτηρίζεστε από τον ίδιο ενθουσιασμό για τα πνευματικά παιχνίδια. Όταν ήσασταν νεότερος, ανακαλύψατε ένα «αντικείμενο» που λέγεται *tribar**. Θέλετε να μας μιλήσετε γι' αυτό;

Απ.: Το βιβλίο του Rouse Ball μού ήταν γνωστό πολύ πριν αποκτήσω κάποια σχέση μαζί του. Ενδιαφερόμουν για τα ψυχαγωγικά μαθηματικά από πολύ νέος, και πιστεύω ότι τον ενθουσιασμό, το ενδιαφέρον και τις γνώσεις γι' αυτόν τον τομέα τα οφείλω στον πατέρα μου. Θυμάμαι ότι τον πρώτο χρόνο που ήμουν μεταπτυχιακός φοιτητής στο Πανεπιστήμιο του Καίμπριτζ, πήγα στο Διεθνές Συνέδριο Μαθηματικών στο Άμστερνταμ και επισκέφθηκα μια έκθεση με έργα του Escher. (Ήταν, μάλιστα, η πρώτη φορά που άκουγα για τον Escher, και νομίζω ότι και οι περισσότεροι δεν είχαν ξανακούσει γι' αυτόν.) Τα έργα του με καταγοήτευσαν. Αποφάσισα, λοιπόν, να δημιουργήσω και εγώ κάποιες «αδύνατες» δομές με κάπως διαφορετικό χαρακτήρα από εκείνες που είχα

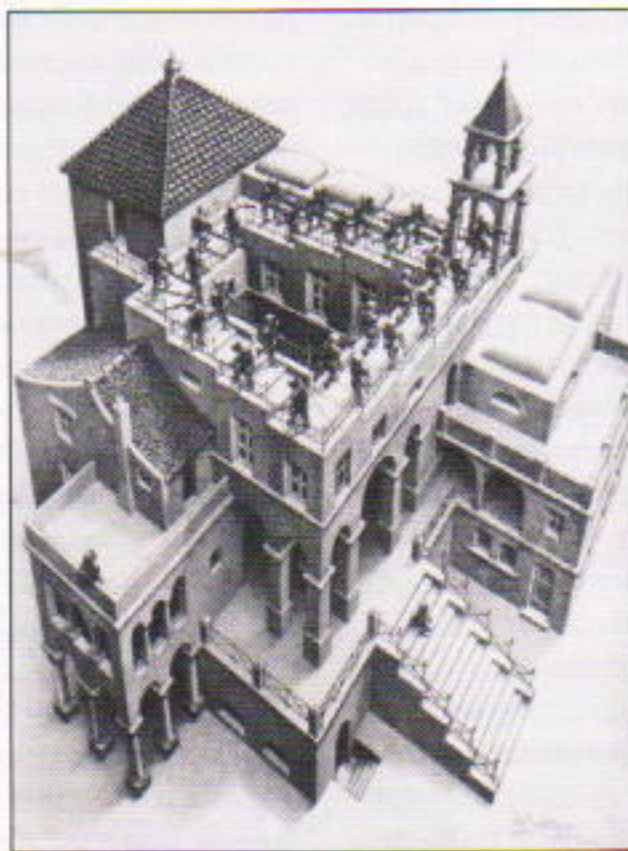
δει στην έκθεση. Αργότερα, όταν ανέπτυξα το *tribar*, όπως λέγεται — δεν το ονόμασα εγώ έτσι —, ως παράδειγμα εκείνου του είδους αδυνατότητας, και ενώ ακόμη ήταν στην απλούστερη μορφή του, το έδειξα στον πατέρα μου· αυτός το ανέπτυξε σαν μια σκάλα που σχηματίζει κύκλο και η αρχή της συνδέεται με το τέλος της. Δημοσιεύσαμε τότε ένα άρθρο, το οποίο αποστείλαμε και στον Escher. Εν τω μεταξύ, αυτός είχε σχεδιάσει το «*Bélvédère*», μια άλλη «αδύνατη» δομή, που είναι παρόμοια με το *tribar*, το οποίο χρησιμοποίησε στο έργο του με τίτλο «Καταρράκτης», και στο άλλο, με τη σκάλα, το «Ανεβαίνοντας και κατεβαίνοντας». Ο Escher έχει αναγνωρίσει ότι σ' αυτά τα έργα τον ενέπνευσαν οι ιδέες μας, γεγονός που αναφέρεται ρητά στον κατάλογο των έργων του.

Ερ.: Στο επόμενο τεύχος του *Quantum* θα υπάρχει ένα άρθρο με θέμα τα πλακίδια Penrose. Θα θέλατε να εξηγήσετε στους αναγνώστες μας τι είναι αυτά;

Απ.: Είναι δύο πολυγωνικά σχήματα με τα οποία μπορείτε να καλύψετε το επίπεδο. Είναι γνωστό ότι μπορείτε να καλύψετε το επίπεδο με τετράγωνα ή με κανονικά εξάγωνα, αλλά η ιδιαιτερότητα των συγκεκριμένων σχημάτων έγκειται στο ότι είναι δύο, και καλύπτουν το επίπεδο με τρόπο μη περιοδικό — που δεν περιλαμβάνει καμία επανάληψη. Αρχικά, είχα ξεκινήσει με έξι τέτοια πλακίδια, τα οποία επίσης δεν επαναλαμβάνονταν. Συνήθιζα να παίζω με τέτοιες πλακοστρώσεις, έτσι, χάριν ψυχαγωγίας. Τα έδειξα στον Escher, και νομίζω

ότι στο τελευταίο του έργο, το «Φαντάσματα», χρησιμοποίησε μια συγκεκριμένη πλακοστρώση, η οποία έχει την ιδιότητα τα πλακίδια να μην είναι όλα ισοδύναμα μεταξύ τους. Αλλά αυτά διαφέρουν από ό,τι εγώ ονομάζω πλακίδια Penrose.

Νομίζω ότι εν μέρει ενδιαφέρθηκα για τα σχήματα που παρουσιάζουν ένα χαρακτηριστικό της φύσης το οποίο έβρισκα πάντοτε συναρπαστικό. Ότι, δηλαδή, ενώ φαίνεται πως στον κόσμο μας υπάρχουν απλοί νόμοι που διέπουν τη συμπεριφορά των στοιχειωδών συστατικών, των σωματιδίων, σε μεγάλη κλίμακα εμφανίζεται φανταστική πολυπλοκότητα· προκύπτει λοιπόν το ερώτημα: μπορούμε να έχουμε κάτι που να διαθέτει πολύ απλούς κανόνες σε μικρή κλίμακα, και το οποίο να παράγει περίτεχνη πολυπλοκότητα σε μεγάλη κλίμακα; Τα πλακίδια Penrose δεν διαθέτουν μόνο το χαρακτηριστικό ότι δεν επαναλαμβάνονται, αλλά έχουν επίσης μια «αδύνατη» συμμετρία, μια πενταπλή συμμετρία. Στην κρυσταλλογραφία υπάρχουν καθιερωμένα θεωρήματα σύμφωνα με τα οποία μπορούμε να έχουμε διπλή, τριπλή, τετραπλή ή εξαπλή συμμετρία, αλλά η πενταπλή συμμετρία δεν επιτρέπεται. Επιπλέον, αυτές οι διατάξεις φαίνονται κανονικές· δεν είναι ποτέ ακριβώς κανονικές,



* Ένα «αδύνατο» αντικείμενο που παραβιάζει τους νόμους της τριδιάστατης πραγματικότητας. Αποτελείται από τρεις συνδεδεμένες μεταξύ τους ράβδους. Με πρώτη ματιά δείχνει φυσιολογικό, αλλά αν κανείς παρακολουθήσει προσεκτικά τη μια ράβδο μετά την άλλη, διαπιστώνει πως είναι συστραμμένες (ή μήπως ο ίδιος ο χώρος είναι στρεβλωμένος). (Από το *Scientific American*, Φεβρ. 1993, σελ.12.)

διότι ουδέποτε επαναλαμβάνονται ακριβώς, αλλά σχεδόν επαναλαμβάνονται. Αφού λοιπόν οι κρύσταλλοι δεν είναι ποτέ τέλει, το «σχεδόν επαναλαμβάνονται» είναι αρκετό.

Για ποιο λόγο όμως δημιούργησα αυτά τα πράγματα στις αρχές της δεκαετίας του 1970; Όταν έδινα κάποια διάλεξη και με ρωτούσαν αν αυτά τα σχήματα σημαίνουν τη διάνοιξη ενός νέου τομέα της κρυσταλλογραφίας, όπου θα μπορούσαν να υπάρξουν ουσίες με παρόμοια δομή, συνήθως απαντούσα ότι κατ' αρχήν αυτό είναι αλήθεια, αλλά δεν μπορούσα να καταλάβω πώς η φύση θα κατάφερνε να παραγάγει αυθόρμητα αυτά τα πράγματα, διότι είναι δύσκολο να τα συναρμολογήσετε σωστά, αν προσπαθήσετε. Έμεινα έκπληκτος, λοιπόν, όταν δέκα χρόνια αργότερα ο Shechtman, ένας ισραηλινός φυσικός που εργαζόταν στις ΗΠΑ, παρατήρησε, από τις εικόνες περίθλασης, ότι ορισμένες ουσίες, κράματα αργιλίου-μαγγανίου, παρουσιάζουν πενταπλή ή δεκαπλή συμμετρία, κάτι που είναι αδύνατο για έναν κρύσταλλο. Επιπλέον, παρουσιάζουν έντονες κηλίδες στο φάσμα τους, γεγονός που υποδεικνύει ότι είναι κρύσταλλοι. Εδώ λοιπόν έχουμε ένα παράδοξο. Ο Shechtman είχε δει και γνώριζε τις πλακοστρώσεις μου, γι' αυτό μπορούσε να υποθέσει ότι κάτι ενδιαφέρον συμβαίνει με όλα αυτά. Σήμερα όλες αυτές οι κρυσταλλικές ουσίες ονομάζονται ημικρύσταλλοι. Αυτή είναι μια ενδιαφέρουσα ιστορία, και τη χρησιμοποιώ μερικές φορές σαν παράδειγμα για να υπογραμμίζω τη σπουδαιότητα της ελευθερίας στην έρευνα. Όπως σας είπα, ασχολιόμουν με τα πλακίδια απλώς για ψυχαγωγία, δεν είχα κανέναν πρακτικό σκοπό. Κι όμως, δέκα χρόνια αργότερα παρατηρήθηκε ότι αυτές οι ουσίες υπάρχουν στη φύση.

Ερ.: Είστε μέλος της επιτροπής του Βραβείου «Βασίλης Ξανθόπουλος» για τη σχετικότητα και την αστροφυσική. Θα θέλατε να μας μιλήσετε για τη συμβολή του τραγικά δολοφονημένου Βασίλη Ξανθόπουλου στη μαθηματική θεωρία για τις μαύρες τρύπες και στη μελέτη των συγκρούσεων βαρυτικών, ηλεκτρομαγνητικών και υδροδυναμικών κυμάτων στη γενική σχετικότητα;

Απ.: Πράγματι, αυτό που συνέβη ήταν τραγικό. Αν και η γνωριμία μας δεν ήταν στενή, θέλω να πω ότι ήταν ένας υπέροχος άνθρωπος, με καταπληκτικό ενθουσιασμό και ζήλο για τη ζωή. Συνεργάστηκε με τον διάσημο αστροφυσικό Chandrasekhar, αλλά και μόνος του παρήγαγε σημαντικό έργο. Ο Ξανθόπουλος υπήρξε εξαιρετικός «εργάτης» στον τομέα της γενικής σχετικότητας. Πράγματι, δεν ασχολήθηκε μόνο με τις μαύρες τρύπες, αλλά και με τα συγκρουόμενα κύματα. Ήταν εξαιρετικά δραστήριος, ένα πολύ σημαντικό πρόσωπο για την ανάπτυξη αυτών των ιδεών. Είχε ευρεία συμβολή στον τύπο της «προσέγγισης» ερευνητικών προβλημάτων αυτών των περιοχών που ανέπτυξε ο Chandrasekhar, την οποία όμως «προσέγγιση» εξέλιξε περαιτέρω και μόνος του, με σημαντικές εργασίες του στους ήδη αναφερθέντες τομείς. Αυτό που συνέβη, ήταν μια μεγάλη τραγωδία, κάτι που με συγκλόνισε τρομερά.

Ερ.: Θέλετε να μας μιλήσετε για το καινούργιο σας βιβλίο, το *Shadows of the Mind* (Σκιές της νόησης);

Απ.: Θα κυκλοφορήσει στην Αγγλία τον Νοέμβριο.

Αρχικά, σκέφτηκα να το γράψω επειδή διατυπώθηκαν πολλά σχόλια και κριτικές για το προηγούμενο βιβλίο, το *Emperor's New Mind*. Πιστεύω πως έγιναν πολλές παρανοήσεις γι' αυτό το βιβλίο — αν και φοβάμαι ότι αυτό θα συμβαίνει πάντοτε, και ότι θα υπάρξουν εξίσου πολλές παρανοήσεις και για το νέο μου βιβλίο. Εν πάση περιπτώσει, ένιωσα ότι υπάρχουν θέματα που έπρεπε να αναλυθούν διεξοδικότερα, και ιδιαίτερα ό,τι αφορά το επιχείρημα που προκύπτει από το θεώρημα του Gödel και δείχνει ότι υπάρχει κάτι περισσότερο στην ανθρώπινη αντίληψη που δεν μπορεί να επιτύχει ένας υπολογιστής. Είπατε προηγουμένως ότι τα ανθρώπινα όντα μπορούν πάντοτε να υπερισχύουν σε σχέση με έναν υπολογιστή: δεν θέλω να το πω αυτό. Απλώς, αυτό που κάνουμε εμείς είναι διαφορετικό... Ίσως, κατ' αρχήν, να μπορούμε να υπερισχύουμε, αλλά στην πράξη, επειδή οι υπολογιστές είναι τόσο ακριβέστεροι, γρηγορότεροι και έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα μνήμης, υπάρχουν διάφορα πράγματα που προφανώς μπορούν να τα κάνουν καλύτερα.

Οντως, οι υπολογιστές αδυνατούν να αποδείξουν οτιδήποτε, διότι μια τέτοια ενέργεια απαιτεί αντίληψη, ενώ αυτοί απλώς ακολουθούν τους κανόνες που τους έχουν δοθεί. Το ότι η εφαρμογή αυτών των κανόνων οδηγεί σε κάποια απόδειξη απαιτεί αντίληψη, και η αντίληψη είναι μια ιδιότητα που δεν μπορεί να τη διαθέτει ένα αμιγώς υπολογιστικό σύστημα. Έτσι, το επιχείρημα του Gödel καθιστά σαφέστερο και ακριβέστερο αυτό το σημείο.

Στο νέο μου βιβλίο, λοιπόν, διεισδύω βαθύτερα σ' αυτό το θέμα, και εξετάζω διάφορες κριτικές και παρανοήσεις: υπάρχουν διάφορα σημαντικά στοιχεία που πρέπει να αναλυθούν εκτενέστερα. Αυτό είναι το πρώτο μέρος του βιβλίου. Προσπαθώ να το κάνω όσο γίνεται περισσότερο ευανάγνωστο, αλλά μερικές φορές είναι ιδιαίτερα «εστιασμένο» — αν και θα έλεγα ότι είναι λιγότερο τεχνικό —, και τα επιχειρήματα γίνονται, αν θέλετε, περισσότερο ανελέητα. Καθώς έγραφα το εν λόγω βιβλίο, άρχισα να μαθαίνω νέα πράγματα, και για τη φυσική και την κβαντική μηχανική — υπάρχουν κάποια νέα στοιχεία —, αλλά και για τη βιολογία του εγκεφάλου. Υπάρχουν στοιχεία που είναι απολύτως νέα για μένα, τα οποία δεν γνώριζα πριν από δύο χρόνια.

Στο δεύτερο μέρος του βιβλίου, λοιπόν, αναφέρω κατ' αρχάς τις απόψεις μου για την κβαντική μηχανική, οι οποίες διαφέρουν ελαφρώς από εκείνες που εξέφραξα στο *The Emperor's New Mind*. Όταν λέω ότι διαφέρουν ελαφρώς εννοώ ότι το κριτήριο που έχω όσον αφορά τη μετάβαση από το κβαντικό επίπεδο στο κλασικό είναι λίγο διαφορετικό. Αλλά και όσον αφορά τη δομή του εγκεφάλου, υπάρχουν σημαντικά στοιχεία για τα λεγόμενα μικροσωληνάρια, τον κυτταροσκελετό, που βρίσκεται σε κάθε συνηθισμένο ευκαρυωτικό κύτταρο. Για παράδειγμα, ένα παραμήκιο ή μια αμοιβάδα μπορούν να κάνουν αρκετά πολύπλοκα πράγματα, να κολυμπούν τριγύρω και να συμπεριφέρονται μ' έναν τρόπο που απαιτεί ορισμένο βαθμό νοημοσύνης: μπορούν να κάνουν αρκετά εξεζητημένα πράγματα, και το ερώτημα είναι πώς τα καταφέρνουν, αφού δεν διαθέτουν νευρικό σύστημα. Προφανώς, η απάντηση είναι ότι τα καταφέρνουν χάρη

στη λειτουργία του κυτταροσκελετού, ενός πολυσύνθετου δικτύου που αποτελείται από μικροσωληνάρια και μικροϊνίδια – από συγκεκριμένους τύπους πρωτεϊνών. Προφανώς, μέσω αυτών των σωληνίσκων αποστέλλονται πολύπλοκα μηνύματα.

Τις γνώσεις μου γι' αυτά τα θέματα τις οφείλω στον Stewart Hameroff, καθηγητή στην Αριζόνα. Εργάζεται στο τμήμα αναισθησιολογίας, επειδή ενδιαφέρεται για τον τρόπο με τον οποίο «σβήνουμε» τη συνείδηση. Ερευνώντας το ερώτημα για το τι συμβαίνει στη συνείδηση, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα μικροσωληνάρια παίζουν αποφασιστικό ρόλο για την παρουσία ή όχι συνείδησης. Οι ίδιοι οι νευρώνες περιέχουν μικροσωληνάρια. Τα μικροσωληνάρια φαίνεται πως είναι υπεύθυνα για την ένταση που έχουν οι συνδέσεις ανάμεσα στους νευρώνες, δηλαδή για τον έλεγχο των συναπτικών εντάσεων. Έτσι, οδηγούμαστε σ' ένα βαθύτερο επίπεδο, όπου ο έλεγχος της οργάνωσης των νευρώνων μεταβάλλεται συνεχώς, και ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται καθορίζεται από τα μικροσωληνάρια. Στο επίπεδο αυτό τα κβαντικά φαινόμενα μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο. Πρόκειται για περιοχή μεταξύ του κβαντικού επιπέδου και του κλασικού. Κατά τη γνώμη μου, αυτός είναι ο χώρος τον οποίο πρέπει να ερευνήσουμε αν θέλουμε να δούμε πού τα κβαντικά φαινόμενα παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του εγκεφάλου.

Ερ.: Αυτό που θέλω να σας ρωτήσω τώρα δεν εμπίπτει στην ειδικότητά σας, αλλά παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για όλους τους μαθηματικούς. Τι γνώμη έχετε για την απόδειξη του τελευταίου θεωρήματος του Fermat από τον Andrew Wiles, και για το κενό που διαπιστώθηκε σ' αυτήν;

Απ.: Όπως είπατε, δεν είμαι ειδικός. Ωστόσο, μίλησα με ανθρώπους που γνωρίζουν αυτά τα θέματα, λόγου χάρη με τον καθηγητή του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης Brian Birch, και έμαθα ότι τουλάχιστον σε ένα σημείο υπάρχει ένα κενό στην απόδειξη. Απ' ό,τι καταλαβαίνω, αν και δεν είμαι απολύτως βέβαιος, αυτό δεν οφείλεται τόσο στη δουλειά του ίδιου του Wiles, αλλά στον τρόπο με τον οποίο εφαρμόστηκαν τα συμπεράσματα άλλων. Αυτό είναι πάντοτε ένα επικίνδυνο σημείο. Όταν κάποιος δανειστεί μίαν απόδειξη ή ένα συμπέρασμα για κάτι από κάποιον άλλο, χρειάζεται προσοχή. Αυτό είναι ένα αδύνατο σημείο: εγώ, πάντως, δεν γνωρίζω περισσότερες λεπτομέρειες.

Ερ.: Για το τέλος, καθηγητά Penrose, ήθελα να σας ζητήσω πιθανόν κάτι δύσκολο: να προσπαθήσετε να μιλήσετε στους αναγνώστες του *Quantum* με τρόπο εκλαϊκευτικό για τη βασική έννοια της θεωρίας των twistors. Προσπαθήστε, σας παρακαλώ, να μας εξηγήσετε τι είναι ο «μετασχηματισμός Penrose» και ποια είναι η σχέση του με τη θεωρία αναπαράστασεων (representation theory), για την οποία έχει γραφτεί ολόκληρο βιβλίο από τους R.J. Baston και M.G. Eastwood.

Απ.: Πρόκειται για ένα πολύ δύσκολο βιβλίο. Το δικό μου ενδιαφέρον για τον λεγόμενο μετασχηματισμό Penrose σχετιζόταν με τη φυσική, ενώ οι δύο συγγραφείς τον οδήγησαν σε περιοχές καθαρών μαθηματικών, στη θεωρία αναπαράστασεων, δηλαδή σε περιοχές οι οποίες βρί-

σκονται πέρα από αυτό που είχα αρχικά κατά νουν. Ένας τρόπος για να αντιληφθούμε το μετασχηματισμό Penrose είναι μέσω της κλασικής φυσικής, χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό Fourier. Ο μετασχηματισμός Fourier μάς οδηγεί από μια περιγραφή θέσης σε μια περιγραφή ορμής. Αυτό σχετίζεται με τον τρόπο με τον οποίο αναλύουμε τις περιοδικές ταλαντώσεις σε απλές αρμονικές ταλαντώσεις. Ας πούμε ότι έχουμε έναν μουσικό φθόγγο, που συντίθεται από πολλές διαφορετικές συχνότητες. Πρόκειται για έναν σύνθετο ήχο με σχετικά πολύπλοκο σχήμα. Τον ήχο αυτό μπορούμε να τον αναλύσουμε στα περιοδικά συστατικά του, στους διαφορετικούς τόνους που τον συνθέτουν. Αυτός, λοιπόν, ο μετασχηματισμός από το σχήμα του κύματος στην περιγραφή με όρους διαφορετικών συχνοτήτων, ονομάζεται μετασχηματισμός Fourier.

Στην κβαντική θεωρία, ο μετασχηματισμός Fourier παίζει κεντρικό ρόλο, όταν μεταβαίνουμε από την αναπαράσταση θέσης (όπου το σημαντικότερο μέγεθος είναι η θέση του σωματιδίου) στην αναπαράσταση ορμής (όπου το σημαντικότερο μέγεθος είναι η ορμή του σωματιδίου). Η θεωρία των twistors, λοιπόν, είναι μια άλλη μορφή περιγραφής απ' αυτήν της θέσης και της ορμής: σχετίζεται με τις φωτεινές ακτίνες. Δεν χρησιμοποιούμε περιγραφή χώρου, ούτε περιγραφή ορμής, αλλά κάτι που συνδέεται με τις φωτεινές ακτίνες και το χρώμα. Το θέμα είναι ότι εάν θέλουμε την περιγραφή ενός πεδίου με τους όρους αυτού του χώρου φωτεινών ακτίνων, ή του χώρου twistor, όπως λέγεται, χρειαζόμαστε ένα άλλο είδος μετασχηματισμού, όχι βεβαίως του μετασχηματισμού Fourier. Αυτός ο άλλος μετασχηματισμός μάς μεταφέρει από το χώρο θέσεων σ' αυτό το χώρο φωτεινών ακτίνων.

Αυτός είναι ο λεγόμενος μετασχηματισμός Penrose, ο οποίος συνδέεται με τη συνομολογιακή θεωρία (cohomology theory): εδώ, όμως, τα πράγματα αρχίζουν να γίνονται εξαιρετικά δύσκολα. Πρόκειται για μια ιδέα που προήλθε από την τοπολογία. Σκέφτομαι ότι κάποτε πρέπει να γράψω ένα εκλαϊκευτικό ή ημεκλαϊκευτικό βιβλίο για τη θεωρία των twistors, όταν θα την έχω κατανοήσει και εγώ πλήρως! Αποτελεί μια πολύ ενδιαφέρουσα άσκηση το να προσπαθήσει κάποιος να εξηγήσει τέτοιες ιδέες, κάτι που θα σήμαινε ότι οφείλει να εξηγήσει ένα σημαντικό μέρος των μαθηματικών, συμπεριλαμβανομένης της συνομολογιακής θεωρίας, για την οποία θα έπρεπε να δοθεί μια διαισθητική περιγραφή.

Παρεμπιπτόντως, επιτρέψτε μου να διευκρινίσω ότι το *Emperor's New Mind* δεν απευθύνεται μόνο στο ευρύ κοινό, αλλά και στους επιστήμονες διαφορετικών τομέων. Έτσι, θα ήταν σημαντικό για έναν βιολόγο, έναν μαθηματικό ή ακόμη και έναν φιλόσοφο να μελετήσουν μια τέτοια παρουσίαση, που δεν είναι απολύτως εκλαϊκευτική (δεν θα μάθαιναν και πολλά πράγματα με αυτόν τον τρόπο), αλλά περιλαμβάνει αρκετές εξηγήσεις, ώστε να αρχίσουν να κατανοούν τις βασικές ιδέες. Έτσι, πιστεύω ότι πρόκειται για ένα επίπεδο περιγραφής που δεν είναι πολύτιμο μόνο για το ευρύ κοινό, αλλά και για όσους είναι μεν ειδικοί στους δικούς τους κλάδους, αλλά επιθυμούν να γνωρίσουν και στοιχεία από άλλους τομείς. ■