

ΝΙΚΟΣ Α. ΤΑΜΠΑΚΗΣ

"ΘΕΩΡΙΑ ΧΑΟΥΣ",

ΜΙΑ ΝΕΑ ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΥΧΗ

Ο. Εισαγωγή

Το βιβλίο "*Παίζει ο Θεός ζάρια;*", με υπότιτλο "*Η Επιστήμη του Χάους*", (Εκδόσεις *Κωσταράκη*), έρχεται αρκετά έγκαιρα να εξοικειώσει τον μέσο Έλληνα αναγνώστη μ' έναν νέο μαθηματικό κλάδο, την *Χαοτική Δυναμική*, που μεσουρανάει τα τελευταία λίγα χρόνια στο εξωτερικό. Η νέα αυτή επιστήμη εξελίσσεται εκρηκτικά, απορροφώντας ταλαντούχους νέους μαθηματικούς για να τους κατευθύνει στις πιο ετερόκλητες, σε πρώτη όψη, εφαρμογές: μετεωρολογικές, βιολογικές – από τον κυτταρικό μεταβολισμό έως τις καρδιακές αρρυθμίες και νευρικές διεγέρσεις – αστρονομικές, από το "πρόβλημα των τριών σωμάτων" έως τη διανομή των γαλαξιών, κβαντομηχανικές και μια ατέλειωτη σειρά από άλλες εφαρμογές ή προοπτικές.

Όμως τι εννοούμε *σήμερα* με τον όρο "Χάος", ή τον συγγενικό "Τύχη"; Οι απαντήσεις είναι μάλλον ...χαοτικές – και όχι μόνον του "γενικού αναγνώστη". Θα σκιαγραφήσω πολύ αδρά, κυρίως το θέμα του βιβλίου – και λιγότερο το ίδιο το βιβλίο – όχι μόνο για το δεδομένο επιστημονικό αλλά και κάποιο επιστημολογικό ενδιαφέρον του.

1. Χαοτική Δυναμική, Αρχικές Συνθήκες, Κβαντική Τυχαιότητα

Ποιο είναι, λοιπόν, το αντικείμενο της Χαοτικής Δυναμικής; Ουσιαστικά μια νέα προσπάθεια *διασαφήνισης της τυχαιότητας*:

Θεωρούμε υποδείγματα "γνήσιας" τυχαιότητας τα ("έντιμα") ζάρια ή τη ρουλέτα. Όμως κάθε παίκτης φαντάζεται ότι ένας πάνσοφος Θεός (ή διάβολος) ξέρει το αποτέλεσμα - και ζητά με την "έμπνευση" να τους υποκαταστήσει! Σκεφτόμαστε, ότι ένα μηχανιστικό σύστημα (ζάρια, ρουλέτα) διέπεται από *αναλλοίωτους φυσικούς νόμους* – δηλαδή, είναι ένα σύστημα "ντετερμινιστικό" – και μια μεγάλη Διάνοια, ικανή να λύσει ένα τεράστιο σύστημα εξισώσεως, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους, μπορεί να προβλέψει το αποτέλεσμα. Εδώ όμως είναι απαραίτητη μια από παλιά γνωστή πρώτη εκλέπτυνση: για να υπολογίσει η Διάνοια, θα πρέπει το σύστημα (ζάρια, κ.λπ.) να είναι *κλειστό*, απαλλαγμένο από εξωτερικές επιδράσεις – και είναι πολύ δύσκολο να φανταστούμε ένα τέτοιο σύστημα στον πραγματι-

κό κόσμο!

Η Θεωρία Χάους έρχεται, λοιπόν, να δώσει μια νέα, αναπάντεχη εκλέπτυνση της τυχαιότητας: και αν ακόμη το σύστημα που διέπεται από τους αναλλοίωτους φυσικούς νόμους είναι κλειστό, είναι δυνατό, σε πολλές περιπτώσεις, να εξελιχθεί, *απρόβλεπτα* "χαοτικά". Η ουσιαστική συμβολή της νέας θεωρίας ήταν ν' αποκαλύψει ότι ένα κλειστό και ντετερμινιστικό σύστημα είναι δυνατόν υπό ορισμένες συνθήκες - ορισμένες τιμές των παραμέτρων που το καθορίζουν - να εξελιχθεί *απρόβλεπτα*, ακόμη και για τον καλό Θεό. Η "τροχιά" - μέσα στον χώρο φάσεων" - του συστήματος χάνει τη μικρή ή πολύ μεγάλη περιοδικότητά της και ανελλίσεται *απρόβλεπτα*.

Πιο συγκεκριμένα, η Θεωρία Χάους επισήμανε δραματικά τη *σημασία* των αρχικών συνθηκών:

Ονομάζουμε "Τύχη" ό,τι οφείλεται - επαναλαμβάνοντας τους ντετερμινιστές του 19ου αιώνα - στην ανεπαρκή γνώση των αρχικών συνθηκών. Μπορούμε εμείς (ή η μεγάλη Διάνοια) να την εξουσιάσουμε; Η, τουλάχιστο, να την ελέγχουμε ικανοποιητικά; Ως "ικανοποιητικά" εννοούμε αν γνωρίζουμε τις αρχικές συνθήκες με ακρίβεια, π.χ. 999% οπότε θα μπορούμε να προβλέψουμε το αποτέλεσμα - εφαρμόζοντας τους φυσικούς νόμους - με τον *ίδιο* βαθμό ακριβείας, 999%.

Αν, όταν "στρίβαμε" ένα νόμισμα, γνωρίζαμε ακριβώς την ένταση, διάταξη, κ.λπ., του μυνικού μας συστήματος (και είμαστε μια μαθηματική μεγαλοφυΐα!) θα μπορούσαμε να ρίχναμε πάντα "κορώνα". Όμως, αλίμονο το μυνικό μας αισθητήριο δεν είναι σε θέση να διακρίνει διαφορές πέρα από κάποιο όριο. (Όπως τα όργανα ενός μετεωρολογικού σταθμού "χάνουν" μικροδιαφορές, οι οποίες όμως μπορεί να σημαίνουν έναν *απρόβλεπτο* κυκλώνα.

Η Θεωρία Χάους, λοιπόν, έκανε σαφές ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η *αρχική μικρή ανακρίβεια* 1% - ή ακόμη και εξωφρενικά πιο μικρή - μπορεί να είναι μοιραία: οδηγεί την πρόβλεψή μας σ' ένα *τεράστιο σφάλμα!* Είναι δυνατό δύο διαφορετικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές - προγραμματισμένοι να λύσουν το *ίδιο* χαοτικό δυναμικό πρόβλημα με ακρίβεια 50 ψηφίων - να δώσουν τελείως διαφορετικά αποτελέσματα - ο ένας να προβλέψει καύσωνα και ο άλλος χιονοθύελλα!

Είναι γνωστό ότι η Κβαντική Θεωρία στην ορθοδοξία της - Σχολή Κοπεγχάγης, κ.λπ. - ανέδειξε τον μικρόκοσμο σ' ένα βασίλειο τυχαιότητας, όπου κάθε φαινόμενο εξελίσσεται *πιθανοκρατικά*, όχι εξαιτίας της (δικής μας) άγνοιας των λεπτομερειών, αλλά λόγω της *ίδιας της φύσης* του μικρόκοσμου. Είναι η άποψη που επικράτησε στη μικροφυσική μετά το 1930, παρά την πεισματική φωνή του Einstein (και άλλων) ότι "ο Θεός δεν παίζει ζάρια".

Δεν είναι, λοιπόν, περίεργο ότι μια θεωρία της τυχαιότητας, όπως η Θεωρία

Χάους, φιλοδοξεί να εμβαθύνει και στην κβαντική τυχαιότητα. Αυτό προσπαθεί να σκιαγραφήσει και ο Stewart σε μερικές σελίδες του, ίσως τις πιο βιαστικές και αδύναμες του βιβλίου - αδυναμία δικαιολογημένη, αν σκεφτούμε την τεράστια βιβλιογραφία γύρω από το θέμα αυτό.

Νομίζουμε, ότι υπάρχουν βάσιμες, προς το παρόν, ελπίδες, ότι η Χαοτική Δυναμική ίσως δώσει ικανοποιητικές απαντήσεις στα "παράδοξα" που μαστίζουν τη σύγχρονη κβαντική θεωρία. Αν μέσα από την "τάξη των φυσικών νόμων" μπορεί να ξεπηδήσει το "τυχαίο" - αλλά και αντίστροφα (βλ. ενότ. 3) - τότε διαγράφεται αμυδρά η συμφιλίωση Einstein και Bohr. Ίσως ζητούμε μια νέα "θεωρία λανθανουσών παραμέτρων", μέσα στο πλαίσιο της Χαοτικής Δυναμικής, η οποία θα εξηγήσει τον πιθανοκρατούμενο κβαντικό μικρόκοσμο.

2. Θεωρίες με Δημοσιότητα. Θεωρία Καταστροφών

Τη δεκαετία του '70 μεσουρανούσε, όπως σήμερα, η Θεωρία Χάους, μια άλλη φυσικομαθηματική θεωρία, της οποίας ο I. Stewart υπήρξε επίσης εκλαϊκευτής της² - το ίδιο ενθουσιώδης όπως στη Θεωρία Χάους. Ο παράλληλος βίος των δύο θεωριών παρουσιάζει ενδιαφέρον αφού, αν μη τι άλλο, είναι οι μόνες δύο θεωρίες μετά το 1930 - όταν είχε πια ολοκληρωθεί η διπλή επανάσταση στη Φυσική με τις θεωρίες της Σχετικότητας και της Κβαντομηχανικής - που αποκτούν τεράστια δημοσιότητα. Και οι δύο αγγίζουν τον μέσο άνθρωπο, με δημοφιλείς εφαρμογές σε άλλες επιστήμες, πληθώρα εκλαϊκεύσεων και, τέλος, με τις εφημερίδες.

Για την προέλευσή τους, παρατηρούμε ότι και οι δύο θεωρίες έχουν ως πρόδρομο μια αφηρημένη, γενική μαθηματική θεωρία: η Θεωρία Καταστροφών τη Διαφορική Τοπολογία και η Θεωρία Χάους τη θεωρία των μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων. Το γιατί οι δύο μαθηματικές θεωρίες δεν απόκτησαν και αυτές οπαδούς στο πλατύ κοινό οφείλεται βέβαια στη δυσκολία τους, που με τη σειρά της οφείλεται στην πολύ γενική, συμβολική μορφή που έχει κάθε σημαντική, καθαρά μαθηματική θεωρία. Το πλατύ κοινό ενδιαφέρεται μόνο για τις εφαρμογές και ακριβέστερα μόνο για το μικρό, ορατό μέρος τους που μπορεί κάπως να καταλάβει. Από εκεί και μετά, η δημοσιότητα μιας επιστημονικής θεωρίας εξαρτάται από πλήθος κοινωνικών παραγόντων - προσωπικότητα δημιουργού, κοινωνικές συνθήκες, κ.λπ. - που δεν μας απασχολούν εδώ.

Εκτός από το εύρος των εφαρμογών, ένας δεύτερος επιστημολογικός λόγος της δημοσιότητας μιας θεωρίας είναι ο νεωτερισμός που εισάγει.

Στη Θεωρία Καταστροφών ο νεωτερισμός, όπως παρουσιάστηκε από τον R. Thom, ήταν στο αντικείμενο της θεωρίας: το μυστήριο της ποικιλίας των μορφών

1. Βλ., π.χ., F. Selleri, *Η Διαμάχη για την Κβαντική Θεωρία*, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα 1986.

2. I. Stewart & T. Poston, *Catastrophe Theory and its Applications*, Pitman, 1978.

στη Φύση.

Στη θεωρία Χάους ο νεωτερισμός είναι στο μέσο κατασκευής της θεωρίας: χωρίς τους σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές θα ήταν αδύνατο να κατασκευαστούν τα φυσικά μοντέλα που στήριξαν τη θεωρία.

Για τη δημιουργία των δύο θεωριών, παρατηρούμε και στις δύο μάλλον μια πλειάδα δημιουργών - με την προβολή κάποιου, ίσως, περισσότερο και χωρίς να λείπουν αντιδικίες. Αυτό εν μέρει εξηγείται από τη χαρακτηριστική για την εποχή μας, *συλλογικότητα* της εργασίας. Όμως βασικότερος, νομίζουμε, λόγος είναι η προϋπαρξη αφετηρίας: των δύο αφηρημένων μαθηματικών θεωριών απ' όπου, άμεσα ή έμμεσα, οι σημερινοί δημιουργοί αντλούν. Ας σταθούμε λοιπόν εδώ μόνο στον μεγάλο H. Poincaré, που η μεγαλοφυής ευρυμάθειά του βρίσκεται πίσω και από τις δύο γενικές μαθηματικές θεωρίες.

Τέλος, για να δικαιολογήσουμε ότι στη βιαστική εποχή μας οι θεωρίες ζουν λιγότερο από τους δημιουργούς τους, πρέπει να δούμε ότι οι προοπτικές της θεωρίας Καταστροφών ήσαν απεριόριστες: μελέτη των *ασυνεχών* μεταβολών. Θα στοιχημάτιζα, ότι οι προοπτικές της Θεωρίας Χάους είναι πολύ καλύτερες, για έναν απλούστατο λόγο: αντικείμενό της είναι ουσιαστικά η θεωρία των *μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων* και ο *πραγματικός* κόσμος δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένα, αφάνταστα πολύπλοκο, δικτύωμα τέτοιων συστημάτων.

3. Συγγενείς και Επίγονοι της Θεωρίας Χάους

Με τη γενικότητα που διαθέτει η Θεωρία Χάους δεν είναι περίεργο ότι συνδέθηκε, ή και επικάλυψε, προηγούμενες θεωρίες. Μία από αυτές είναι η *Μορφοκλασματική (Fractal) Γεωμετρία*, την οποία ο B. Mandelbrot παρουσίασε (1975) έτσι ώστε να τραβήξει το ενδιαφέρον του κοινού με τα εξωτικά, γοητευτικά σχήματά της. Σχήματα χωρίς "κανονικότητα", όπου τα μέρη τους δεν επαναλαμβάνονται περιοδικά αλλά καθένα από αυτά, οσοδήποτε μικρό, είναι *όμοιο με το όλο σχήμα*. Πρόκειται για μία γεωμετρία των *μη κανονικών* μορφών - που όμως αποτελούν κανόνα στην φύση! - από τις διατάξεις μορίων σε οριζικά έως τις βιολογικές δομές ιών, DNA, κ.λπ.

Η σύνδεση της Θεωρίας Χάους με τη Θεωρία των Fractals έγινε στη θεωρία του *στροβιλισμού*, την οποία και οι δύο προώθησαν πέρα από την ελλειπή, κλασική της μορφή: η Θεωρία Χάους εκμεταλλεύομενη το γεγονός ότι στις στροβιλώδεις ροές παρουσιάζονται χασοτικές εξελίξεις, και η Θεωρία των Fractals εξηγώντας τις μη κανονικές μορφές που εκεί εμφανίζονται.

Ο ελεγκτατικός δυναμισμός της Θεωρίας Χάους εκδηλώθηκε πρόσφατα σε μια θεωρία που - αν επικρατήσει - θα φέρει στη Βιολογία μια επανάσταση ανάλογη με τη θεωρία εξέλιξης, αφού προτείνεται ότι η *δαρβίνεια* φυσική επιλογή είναι μόνο η

μοσή κινητήρια δύναμη της εξέλιξης των ειδών. Ως υπόλοιπη μοσή εμφανίζεται το "αντι-χάος": η δυνατότητα των πολυπλόκων συστημάτων να μετατρέπουν αιφνιδώς την χαοτική τους εξέλιξη σε τάξη.

Με πρωτεργάτη τον βιοφυσικό S.Kauffman³, η θεωρία αποδεικνύει ότι ένα πολύπλοκο δυναμικό σύστημα που εξελίσσεται χαοτικά μπορεί - εξαιτίας της δικής του στιγμιαίας διάταξης ή λόγω κάποιας εξωτερικής κατάλυσης - να αποκτήσει αιφνιδώς τάξη. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που θυμίζει "αλλαγή φάσης", όπως η μεταβολή του νερού σε πάγο. (Έχουμε εδώ και μία σύνδεση με τη θεωρία Καταστροφών: οι πιο χαρακτηριστικές ασυνεχείς μεταβολές είναι οι αλλαγές φάσης).

Αν σκεφτούμε ότι η εμφάνιση τάξης είναι ένα χαρακτηριστικό της ζωής, αντιλαμβανόμαστε τη σημασία της νέας θεωρίας στο πρόβλημα της εμφάνισης της ζωής και της εξέλιξης.

Εννοείται ότι η θεωρία του Kauffman - όπως και όλη η Θεωρία Χάους - χρησιμοποιεί κατά κόρον, ως αποδεικτικό μέσο, φυσικά διακριτά μοντέλα, των οποίων η μελέτη και ανάπτυξη είναι δυνατή μόνο χάρη στη σημερινή υπολογιστική μας δύναμη. Αν οι κυτταρικοί τύποι διαφοροποιούνται όχι επειδή έχουν διαφορετικά γένη αλλά επειδή παρουσιάζουν διαφορετικά είδη γενετικής δραστηριότητας, πρέπει να παρακολουθήσουμε πολύπλοκες στατιστικές εξελίξεις και αυτό μπορεί να γίνει μόνο με τους σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

4. Η Ελληνική Έκδοση του Βιβλίου του I. Stewart

Ο μαθηματικός I. Stewart είναι πολύ γνωστός κυρίως ως πολυγραφώτατος παρουσιαστής μαθηματικών θεωριών σε εκλαϊκευτικό ή και τεχνικό επίπεδο. Πολλοί μαθηματικοί θεωρούν ως εκβαρβαρισμό της αυστηρής επιστήμης τους τις ανακρίβειες και ασάφειες, που μοιραία περιέχονται σε μια μαθηματική εκλαΐκευση. Όμως - παραφράζοντας τον O. Heavyside⁴ - αν το στομάχι μας δεν χωνεύει καλά, δεν πρέπει να μείνουμε και νηστικοί. Θα ήταν χρήσιμη προπαίδεια για τους αναρίθμητους αν-αρίθμητους, όχι όμως και α-γράμματους Νεοέλληνες, τυχόν μεταφράσεις και των εκλαϊκεύσεων του Stewart στα καθαρά μαθηματικά⁵.

Σε εκλαϊκεύσεις φυσικομαθηματικών θεωριών, όπως η Θεωρία χάους, οι δυσκολίες είναι ακόμη πιο μεγάλες: παρεκβολές για να εξηγηθούν βασικοί όροι, όπως, φαινόμενο Doppler, συντονισμός, τοπολογία, κ.λπ., κάνουν τον ανιποψίαστο αναγνώστη να χάνει συχνά το νήμα.

3. S. Kauffman, "Antichaos and Adaptation". *Scient. Am.*, Αύγουστος

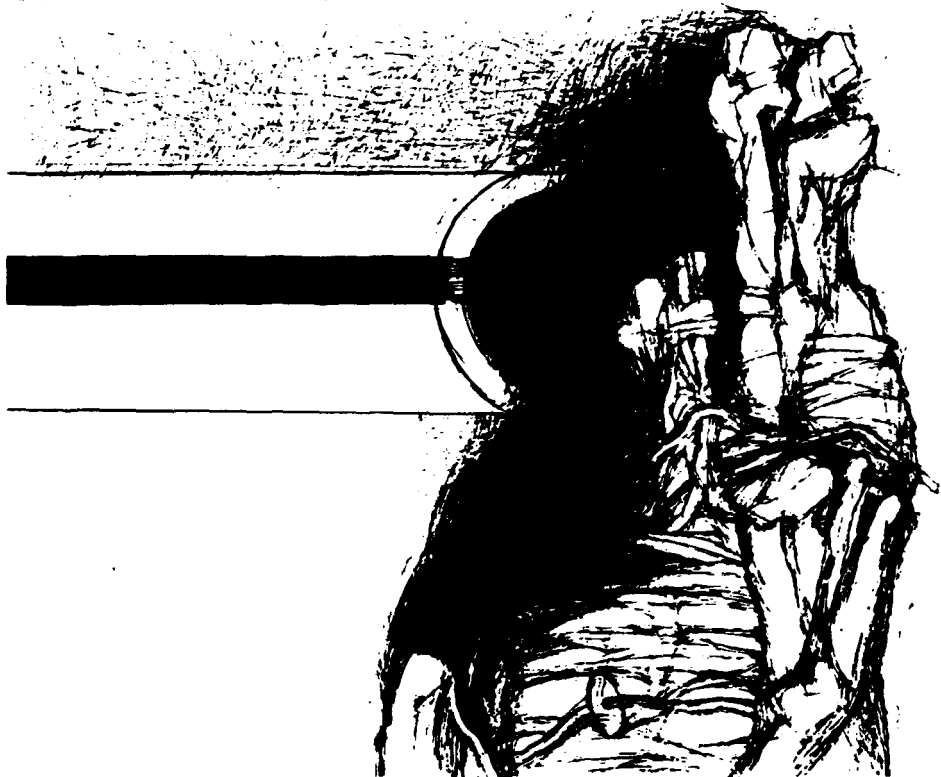
4. Η απολογία μιας αποδοάκτης μεγαλοφυΐας, του Oliver Heavyside, όταν επικρίθηκε για την "έλλειψη αυστηρότητας" στη θεωρία των *Διαφορικών Τελεστών*: "... κι όμως δεν αρνούμεθα να φάμε επειδή δεν ξέρουμε τι ακριβώς γίνεται στο στομάχι μας..."! (Βλ., π.χ., *Scient. Am.*, Ιούνιος).

5. Π.χ., τον *Concepts of Modern Mathematics*, Penguin, 1975.

Οι εκδόσεις *Κωσταράκη* είναι μια νέα και ασυνήθιστα ευσυνείδητη παρουσία στον ελληνικό εκδοτικό χώρο. Ο ενθουσιασμός του υπεύθυνου εκδόσεων, του φυσικού κ. Π. Τραυλού, για την καλή επιστημονική εκλαΐκευση και τη φιλοσοφία της επιστήμης, αντιστοιχεί στην πολύ προσεγμένη εξωτερική και εσωτερική εμφάνιση του βιβλίου.

Η μετάφραση του μαθηματικού κ. Κ. Σαμαρά είναι ευχάριστη και ακριβής ιδίως στα πιο τεχνικά μέρη του βιβλίου. (Η επιμονή, πάντως, στην απόδοση των ξένων ονομάτων με ελληνικούς χαρακτήρες μου φαίνεται ατυχής. Ένα επιστημονικό βιβλίο, ακόμη και εκλαϊκευτικό, δεν είναι φροντιστήριο ξένων γλωσσών. Εξάλλου, η απόδοση των ξένων ονομάτων με ελληνικούς χαρακτήρες δεν ωφελεί φωνητικά: προς τι να δει κανείς, π.χ., τον μεγάλο Lagrange παραλλαγμένο σε Λαγκράντζ;))

Το βιβλίο αυτό θα βοηθήσει το μέσο αναγνώστη να σχηματίσει μια σαφέστερη εικόνα για τον κόσμο - ακόμη και αν αποφύγει να διαβάσει π.χ. για τον απλό επαναληπτικό μετασχηματισμό του x^2-1 , όπου όμως και κρύβεται η ακριβής έννοια του "χάους". Το ίδιο χρήσιμο θα είναι και για τον τεχνικό, ο οποίος δεν έχει προλάβει ακόμη να ενημερωθεί σ' ένα νέον επιστημονικό κλάδο, που ίσως θα μετασχηματίσει δραματικά και άλλες επιστήμες.



*Β. Δημητράκης «Δύο μορφές»
Σχέδιο με σιλική μελάνη (100x70) 1980*