

Χάος, καταστροφές και fractals: προς μια διεύρυνση της αιτιοκρατικής σχέσης

Χάος, καταστροφές, μορφοκλασματικές δομές (fractals). Νέες έννοιες στο επιστημονικό λεξιλόγιο που ανακαλούν στη μνήμη φαινόμενα άλλης τάξεως και που θεωρούνται ενίοτε ως άρνηση της αιτιοκρατίας, της ορθολογικότητας και της δυνατότητας του ανθρώπου να κατανοήσει το φυσικό κόσμο. Περί τίνος πρόκειται λοιπόν;

Η Φυσική, από την εποχή του Νεύτωνα, αντιμετώπισε και περιέγραψε φαινόμενα με τη βοήθεια γραμμικών εξισώσεων. Οι εξισώσεις αυτές, ως γνωστόν, συμπεριφέρονται «ομαλά». Είναι αιτιοκρατικές και, προφανώς, προϋποθέτουν μια αντίστοιχη συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων. Οι θρίαμβοι της Μηχανικής, της Ουράνιας Μηχανικής, του Ηλεκτρομαγνητισμού κ.λπ. προϋπέθεταν τη διατύπωση τέτοιων εξισώσεων. Βεβαίως οι δημιουργοί της Φυσικής γνώριζαν ότι τα φαινόμενα είναι περίπλοκα. Ότι, π.χ., οι τροχιές των σωμάτων στη γη ή των πλανητών γύρω από τον ήλιο δεν ήταν ακριβώς όπως πρόβλεπαν οι εξισώσεις. Εντούτοις, οι αποκλίσεις από την ιδεατή μορφή δεν αναιρούσαν την περιγραφική τους αντικειμενικότητα και, ως ένα βαθμό, την εξηγητική τους αξία. Ακόμα και φαινόμενα τα οποία συνιστούσαν την άρνηση της συνέχειας, δηλαδή τα φαινόμενα της κβαντικής Φυσικής, περιγράφηκαν ως γνωστόν με βάση μια γραμμική εξίσωση (την εξίσωση Στράντινγκερ). Η καταπληκτική ακρίβεια των προβλέψεων της κβαντικής Μηχανικής και οι τεχνικές εφαρμογές στις οποίες οδήγησε αποδεικνύουν ότι η ιδεατή μορφή αντιστοιχεί σε κάποια «εξιδανικευμένη» φυσική πραγματικότητα.

Αλλά, όπως έλεγε ο Αϊνστάιν, οι πραγματικοί νόμοι της φύσης είναι μη γραμμικοί. Μισόν αιώνα μετά τη ρήση του Αϊνστάιν, στο πεδίο της επιστήμης εισήλθαν φαινόμενα —χάος, καταστροφές κ.λπ.— τα οποία δεν υπακούουν στην απλότητα των γραμμικών εξισώσεων. Για να περιοριστούμε στα χαοτικά συστήματα: Τα συστήματα αυτά, όπως τονίζεται σε άλλα κείμενα του τεύχους, παρουσιάζουν ευαισθησία ως προς τις αρχικές συνθήκες. Μικροδιακυμάνσεις πολλαπλασιάζονται εκθετικά, με αποτέλεσμα τη χαοτική συμπεριφορά. Αλλά χαοτική συμπεριφορά σημαίνει έλλειψη αιτιότητας και αιτιοκρατίας¹. Διαπιστώνεται, δηλαδή, σ' αυτή την περίπτωση μια μη αναγώγιμη —οντολογική θα μπορούσε να ειπωθεί— αντίθεση ανάμεσα στα κλασικά αιτιοκρατικά φαινόμενα (μηχανικά, ηλεκτρομαγνητικά, βαρυτικά) και στα χαοτικά; Αλλά ο όρος αυτοκρατικό χάος δεν συνηγορεί υπέρ του

¹ Ο Ε. Μπιτσάκης είναι ομότιμος καθηγητής Φιλοσοφίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και υφηγητής Θεωρητικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών

αντίθετου; Μήπως, λοιπόν, αντί να θεωρήσουμε αυτά τα φαινόμενα ως άρνηση της αιτιοκρατικής λειτουργίας της φύσης, οφείλουμε να διευρύνουμε την έννοια της αιτιοκρατίας;

1. Το μηχανιστικό κοσμοείδωλο

Ας υπενθυμίσουμε τις βασικές οντολογικές παραδοχές της μηχανιστικής κοσμοεικόνας, όπως αυτή διαμορφώθηκε από τους Γαλιλαίο, Νεύτωνα, Λαπλάς και τους άλλους δημιουργούς της Φυσικής πριν από τον Μάξγουελ και τον Αϊνστάιν.

Η ύλη αποτελείται από άτομα, συμπαγή, αδιαίρετα, περίπου όπως τα φανταζόταν ο Δημόκριτος. Τα άτομα κινούνται στον άπειρο, κενό χώρο και δημιουργούν με τις ενώσεις τους τα ουράνια σώματα και συνολικά την ύλη του Σύμπαντος. Ο χώρος της μηχανιστικής Φυσικής είναι, από μαθηματική άποψη, ένας ευκλείδειος χώρος, δηλαδή ένας χώρος με σταθερή μετρική, ανεξάρτητη από την παρουσία της ύλης ή την κίνηση των υλικών μαζών. Είναι μια μορφή κενή από περιεχόμενο, ένα «άπειρο κενό δοχείο» που δέχεται την ύλη.

Τα άτομα —τα φυσικά συστήματα— αλληλεπιδρούν με δυνάμεις, βαρυτικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές, οι οποίες υποτίθεται ότι μεταδίδονται με άπειρη ταχύτητα, συνδέοντας χωρίς χρονική υστέρηση τα αλληλεπιδρώντα σώματα (μη-τοπικότητα). Οι δυνάμεις (αιτίες) καθορίζουν μονοσήμαντα το αποτέλεσμα. Στις αυτές αιτίες αντιστοιχούν ταυτόσημα αποτελέσματα, όπως έγραφε ο Νεύτων. Κατά συνέπεια, η Φυσική πριν από τον Μάξγουελ ήταν αιτιοκρατική και μη τοπική. Αλλά οι εξισώσεις του Ηλεκτρομαγνητισμού, όπως διατυπώθηκαν από τον Μάξγουελ, προβλέπουν μια πεπερασμένη ταχύτητα για τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Η ύπαρξη μιας μέγιστης ταχύτητας στη φύση αποτέλεσε, στη συνέχεια, ένα από τα θεμέλια της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, η οποία γενίκευσε τις εξισώσεις του Μάξγουελ στο νέο ψευδο-ευκλείδειο, χωροχρονικό πλαίσιο². Η θεωρία της βαρύτητας του Αϊνστάιν προβλέπει, επίσης, μια πεπερασμένη ταχύτητα για τη βαρυτική αλληλεπίδραση. Οι σχετικιστικές θεωρίες ήταν, συνεπώς, αιτιοκρατικές και τοπικές. Και οι θεωρίες αυτές, σε αντίθεση από τη Μηχανική, προβλέπουν τη γένεση και την καταστροφή «σωματίων» (ή, αν προτιμάτε, κυμάτων) με ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Ας επιστρέψουμε τώρα στο μηχανιστικό κοσμοείδωλο, το οποίο συνιστά έναν «παράδεισο απλότητας», και ας δούμε συγκεκριμένα τη θεμελίωση του αιτιοκρατικού χαρακτήρα του.

Η προκβαντική Φυσική δέχεται το αξίωμα ότι η ενέργεια ανταλλάσσεται συνεχώς με οσοδήποτε μικρές ποσότητες. Από την παραδοχή αυτή έπεται ότι είναι δυνατόν να μειώσουμε στο ελάχιστο τη διαταραχή που προκαλεί η μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους. Ειδικότερα, ότι μπορούμε να μετρήσουμε ταυτόχρονα, με απεριόριστη ακρίβεια, τη θέση και την ορμή ενός σωματίου και να ορίσουμε ένα σημείο Γ στο χώρο των φάσεων³. Απ' αυτό συνάγεται ότι είναι δυνατόν να παρακολουθήσουμε την κίνηση του σωματίου στο χώρο και να επαληθεύσουμε την ισχύ της αιτιοκρατίας.

Η συμβατότητα των παρατηρήσιμων μεγεθών (θέση, ορμή κ.λπ.) που καθορίζουν την κατάσταση του συστήματος συνεπάγεται ότι η δομή των προτάσεων που αφορούν ένα κλασικό σύστημα είναι μπουίλια⁴. Αλλά, ως γνωστόν, η μπουίλια λογική ταυτίζεται με την τυπική, αριστοτελική λογική. Η τυπική αυτή σχέση αντιστοιχεί στο γεγονός ότι, κατά την αλ-

ληλεπίδραση σωματίου-οργάνου, διατηρείται η ταυτότητα του σωματίου (το οποίο, εξάλλου, είναι στερημένο από ποιοτικά χαρακτηριστικά).

Ως προς την αρχή της αιτιοκρατίας: Η μπούλεια δομή συνιστά αναγκαία, αλλά όχι και επαρκή συνθήκη για τον αιτιοκρατικό χαρακτήρα μιας θεωρίας. Μια αναγκαία και ικανή συνθήκη για να είναι αιτιοκρατικό ένα μπούλειο σύστημα με πεπερασμένο αριθμό βαθμών ελευθερίας είναι η *ατομικότητα*⁵. Αλλά η ατομικότητα συνιστά μια διαφορετική έκφραση της διατήρησης της ταυτότητας του συστήματος, άρα της απουσίας νέου κατά τη μέτρησή⁶.

Η μηχανιστική κοσμοαντίληψη είναι, συνεπώς, αιτιοκρατική. Ένας Δαίμων, από ένα αρχιμήδειο σημείο, θα μπορούσε να εποπτεύει το Σύμπαν και να προβλέπει την εξέλιξή του. Ο Δαίμων του Λαπλάς αποτελεί μια ακραία έκφραση μηχανιστικού αναγωγισμού, δηλαδή απόπειρας αναγωγής του ανώτερου στο κατώτερο· συνολικά αναγωγής της ποιοτικής ποικιλίας του κόσμου σε δομές και κινήσεις αμετάβλητων ατόμων τα οποία αλληλεπιδρούν ακαριαία. Το τυχαίο θα αποκλειόταν από ένα τέτοιο σύμπαν. Θα αποτελούσε απλώς επιστημική κατηγορία, έκφραση μερικής άγνοιας. Με την εισαγωγή *συμπληρωματικών παραμέτρων* στην καταστατική εξίσωση του συστήματος θα μπορούσαμε, καταρχήν, να ορίσουμε τη θέση του στο χώρο των φάσεων και να παρακολουθήσουμε την αιτιοκρατημένη κίνησή του.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η αιτιοκρατική περιγραφή με συνεχείς διαφορικές εξισώσεις αποτελεί την άρνηση του χάους —νομοθετεί το *φαινομενικό χάος*. Αλλά είναι τόσο απλά τα πράγματα;

Ήδη από το 1892, ο Ανρύ Πουανκαρέ απέδειξε ότι ορισμένα μηχανικά συστήματα, η χρονική εξέλιξη των οποίων διέπεται από τις εξισώσεις του Χάμιλτον (της κλασικής Μηχανικής), μπορούσαν να εκδηλώνουν χαοτική κίνηση. Ο μέγας γάλλος μαθηματικός μπορεί να θεωρηθεί πρόδρομος των θεωριών του χάους. Αργότερα ο F. Bopp θα απεδείκνυε ότι ακόμα και στην κλασική περίπτωση θα ήταν αδύνατο να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τη θέση ενός σωματίου στο χώρο των φάσεων⁷. Ο Bopp αναφέρεται σε παρόμοια συμπεράσματα του Max Born⁸ και καταλήγει ότι το αντικείμενο της έρευνας είναι ένα σύνολο σωματιών τα οποία αντιπροσωπεύουν τις δυνατές καταστάσεις του εν λόγω σωματίου. Το δυνατό σύνολο είναι ένα στατιστικό σύνολο. Φυσικά το πρόβλημα δεν είναι η δυνατότητα να *παρατηρήσουμε* τη θέση του σωματίου στο χώρο των φάσεων. Η κατάσταση του σωματίου κατέχει αντικειμενικά μια *λεπτή υφή* στοχαστικού χαρακτήρα, η οποία *καθορίζεται* από τις αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον. Ήδη, λοιπόν, στην κλασική περίπτωση αντιμετωπίζουμε μια νέα μορφή στατιστικού καθορισμού, η οποία υπερβαίνει το γραμμικό, απόλυτο καθορισμό λαπλασιανής μορφής.

Σε μεταγενέστερη εργασία του, ο Born υποστήριξε ότι οι αβεβαιότητες οι σχετικές με τις αρχικές συνθήκες συνεπάγονται ότι οι προβλέψεις της κλασικής Μηχανικής δεν αφορούν μια ακριβή τροχιά, αλλά ένα σύνολο τροχιών που δίδονται από μια πιθανοτική κατανομή. Κατά τον Born, είναι λογικό να διατυπωθεί η κλασική μηχανική στατιστική θεωρία⁹. Ο πλέον «αιτιοκρατικός» κλάδος αποκαλύπτει, συνεπώς, έναν ενδογενή στοχαστικό χαρακτήρα. Αλλά ο «χαοτικός» χαρακτήρας δεν αναιρεί την αιτιοκρατική φύση των φαινομένων.

Τέλος, ο E. N. Λόρεντζ (Lorenz) απέδειξε, το 1963, ότι ακόμα και ένα απλό σύνολο τριών συνεξυμμένων μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων μπορεί να οδηγήσει σε εντελώς χαοτικά φαινόμενα. Ο Λόρεντζ ανακάλυψε ένα από τα πρώτα παραδείγματα *αιτιο-*

κρατικού χάους σε μη συντηρητικά συστήματα. Βρισκόμαστε, συνεπώς, ήδη στα πρόθυρα των θεωριών του χάους.

2. Αιτιοκρατικό χάος σε μηχανικά συστήματα

Η πεποίθηση, συνεπώς, ότι αιτιοκρατικές κινήσεις που περιγράφονται από συνεχείς διαφορικές εξισώσεις είναι ομαλές αποδείχτηκε προϊόν εξιδανίκευσης. Όπως γράφει ο Schuster, στην περίπτωση κλασικών συστημάτων με λίγους βαθμούς ελευθερίας συνήθως η κίνηση στο χώρο των φάσεων είναι εξαιρετικά περίπλοκη. Δεν είναι ούτε κανονική ούτε απλώς ερгодική. Η εξαιρετική ευαισθησία από τις αρχικές συνθήκες έχει ως αποτέλεσμα μια χαοτική χρονική συμπεριφορά. Και το φαινόμενο αυτό δεν αποτελεί εξαίρεση. Το αιτιοκρατικό χάος, γράφει ο Schuster, «δηλώνει την ακανόνιστη ή χαοτική κίνηση που γεννιέται από μη γραμμικά συστήματα, οι δυναμικοί νόμοι των οποίων καθορίζουν μονοσήμαντα την κατάσταση του συστήματος, από τη γνώση της προηγούμενης ιστορίας του». Και η χαοτική συμπεριφορά δεν οφείλεται ούτε σε εξωτερικές πηγές θορύβου ούτε σε κάποιον άπειρο αριθμό βαθμών ελευθερίας. Το ακανόνιστο αποτελεί ιδιότητα των μη γραμμικών συστημάτων, των οποίων οι κοντινές τροχιές απομακρύνονται εκθετικά στον περιβάλλοντα χώρο¹⁰.

Για μια ακόμη φορά, συνεπώς, όπως και στην περίπτωση της Σχετικότητας, το όνομα μιας θεωρίας φαίνεται να μην αντιστοιχεί στο φυσικό της περιεχόμενο. Το χάος, η αταξία, είναι «νομοθετημένη»: *αιτιοκρατικό χάος*. Αυτό που φαίνεται αυθαίρετο και τυχαίο αποδεικνύεται αποτέλεσμα βαθύτερων αιτιακών σχέσεων. Αντίστροφα, φαινόμενα τα οποία υπακούουν σε μια δυναμική αιτιοκρατία, όπως τα φαινόμενα του ηλεκτρομαγνητισμού και της βαρύτητας, επικαλύπτουν στατιστικά σύνολα όπου δεσπόζει το τυχαίο (φωτόνια και βαρυτόνια). Το τυχαίο, το στατιστικά καθορισμένο, είναι με τη σειρά του το συνολικό αποτέλεσμα σχέσεων που λειτουργούν σε ένα βαθύτρο επίπεδο κ.ο.κ. Αλλά θα επανέλθουμε στη σχέση αναγκαιότητας και τυχαίου.

Λόγω μικρών διακυμάνσεων στις αρχικές συνθήκες, ένα σύστημα μπορεί να παρουσιάσει χαοτική συμπεριφορά. Αλλά και στην προκειμένη περίπτωση, η αταξία φαίνεται να συνδέεται διαλεκτικά με την τάξη. Όπως είναι γνωστό και όπως τόνισε ο συνάδελφος κ. Μπούνης, οι λύσεις ενός απλού αιτιοκρατικού μοντέλου τριών διαφορικών εξισώσεων, αν και διακρίνονται από τη γνωστή ευαίσθητη εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες, τελικά συγκεντρώνονται σε ένα πολύπλοκο σύνολο στο χώρο των φάσεων, που ονομάστηκε παράξενος ή χαοτικός ελκυστής¹¹.

Τα αντίθετα απόκλιση και σύγκλιση, διαφυγή και έλξη, χαρακτηρίζουν τα μη διατηρητικά (dissipative) συστήματα. Στα μη διατηρητικά συστήματα τα στοιχεία του όγκου συρρικνώνονται με το χρόνο. Στα διατηρητικά (non dissipative) συστήματα, αντίθετα, στα οποία περιλαμβάνονται τα δυναμικά συστήματα της κλασικής μηχανικής, που ακολουθούν τις εξισώσεις κίνησης του Χάμιλτον με διατήρηση του όγκου στο χώρο των φάσεων, δεν παρατηρούνται, αντίθετα με τα μη διατηρητικά συστήματα, περιοχές έλξης στο χώρο των φάσεων, σταθερά σημεία ούτε παράξενοι ελκυστές. Εντούτοις, η διαφορά δεν είναι απόλυτη.

Ακόμα και στα διατηρητικά συστήματα παρουσιάζεται χάος, χαοτικές περιοχές στο χώρο των φάσεων, αλλά οι περιοχές αυτές δεν είναι «ελκυστικές» (attractive) και δεν αλληλοδιαπλέκονται με ομαλές περιοχές¹².

Τα μη διατηρητικά συστήματα, όπως τόνισε ο συνάδελφος κ. Νικόλης, παρουσιάζουν πρακτικό ενδιαφέρον. Οι όγκοι τους στο χώρο των καταστάσεων συρρικνώνονται προοδευτικά, με ασυμπτωτική τιμή το μηδέν. Εξελισσόμενα από διαφορετικά υποσύνολα αρχικών συνθηκών, καταλήγουν σε συνυπάρχοντες πολλαπλούς ελκυστές. Σε μια *ασυμπτωτική ευστάθεια*¹³.

Τα κλασικά γραμμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από τη διατήρηση της ταυτότητας. Από μια ιδεώδη τάξη που αποκλείει την αλλαγή. Με τα μη γραμμικά συστήματα, αντίθετα, αναδεικνύεται η δυνατότητα της μεταβολής και της εξέλιξης. Δεν είναι, συνεπώς, τυχαίο ότι, πέρα από μηχανικά ή ηλεκτρονικά συστήματα, οι μη γραμμικές εξισώσεις σε σχέση με τις θεωρίες του χάους είναι, όπως τόνισαν οι συνάδελφοι Ν. Ταμπάκης και Γ. Νικόλης, το κατάλληλο όργανο για τη μελέτη βιολογικών συστημάτων όπως, π.χ., η λειτουργία της καρδιάς, του εγκεφάλου κ.λπ.

Ένα απλό αιτιοκρατικό σύστημα, που περιγράφεται με μη γραμμικές εξισώσεις σε δεδομένες αρχικές συνθήκες, είναι δυνατόν να λειτουργήσει ως *φαινομενικά τυχαίο*¹⁴. Το χάος είναι αιτιοκρατημένο, αντίθετα με ό,τι υποδηλώνει η έννοια στην κλασική εκδοχή της. Τάξη και χάος συνιστούν διαλεκτική-αντιθετική ενότητα. Η αρχική «τάξη» εξελίσσεται σε χάος και το χάος συρρικνώνεται σε νέα «τάξη». Τα χαοτικά φαινόμενα, συνεπώς, δεν συνιστούν την αναιρέση, δεν αποδεικνύουν τη χρεωκοπία της κλασικής μηχανιστικής αιτιοκρατίας. Η μορφή αυτή αντιστοιχεί σε ιδεατές καταστάσεις που εν γένει δεν πραγματοποιούνται στη φύση, λόγω της παρεμβολής δευτερευουσών αιτιών, διαταραχών κ.λπ. Ποτέ, π.χ., ένα σώμα δεν κινήθηκε απόλυτα ομαλά, σύμφωνα με την αρχή της αδράνειας. Εντούτοις, η *αφαίρεση* και η ιδεατή σχέση αποτέλεσαν και αποτελούν την αφετηρία και τη βάση για τη μελέτη πραγματικών φαινομένων — π.χ. της κίνησης στο χωρόχρονο. Λαμβάνοντας υπόψη τις συγκεκριμένες συνθήκες, περιγράφουμε, προβλέπουμε, εξερευνούμε το συγκεκριμένο, με αφετηρία το γενικό-αφηρημένο. Η εμφάνιση των χαοτικών φαινομένων συνιστά, συνεπώς, όχι την αναιρέση της μηχανιστικής αιτιοκρατίας, αλλά την ανάδειξη του χαρακτήρα και των ορίων ισχύος της. Με τα χαοτικά φαινόμενα αναδεικνύεται η ανάγκη για διεύρυνση των κατηγοριών της αιτιότητας και της αιτιοκρατίας.

3. Κβαντική Μηχανική, χάος και κβαντικός στατιστικός καθορισμός

Αλλά, ακόμα και αν δεχτούμε την προηγούμενη άποψη για τη σχέση αναγκαιότητας και τυχαίου, και πάλι προκύπτει το ερώτημα: Ποια θα μπορούσε να είναι η σχέση αυτή στην κβαντική Μηχανική και γενικότερα στη μικροφυσική όπου, τουλάχιστον κατά την ορθόδοξη ερμηνεία (τη λεγόμενη της Σχολής της Κοπεγχάγης), εκδηλώνεται μια εγγενής συμπεριφορά ασύμβατη με την αρχή της αιτιότητας;

Ας υπενθυμίσουμε και ας σχολιάσουμε, ως αφετηρία μιας απάντησης, ορισμένα χαρακτηριστικά της κβαντομηχανικής περιγραφής.

Όπως είναι γνωστό, η συνάρτηση Ψ, λύση της γραμμικής εξίσωσης Σραινίνγκερ, εξελίσσεται αιτιοκρατικά στο χωρόχρονο εφόσον το σύστημα δεν υφίσταται εξωτερική διαταραχή. Η Ψ μάλιστα επιτρέπει να υπολογίσουμε μια πυκνότητα πιθανότητας και, συνεπώς, την πιθανότητα παρουσίας του σωματίου σε ένα στοιχείο όγκου. Αλλά κατά τη μέτρηση ή αυθόρμητα στη φύση, από μια αρχική κατάσταση Ψ είναι δυνατόν να προκύψει ένα σύνολο διαφορετικών καταστάσεων Ψ_i. Το γεγονός αυτό φαίνεται να αντιφάσκει με την κλασική αιτιοκρατική σχέση, εξ ου και η άποψη της ορθόδοξης σχολής για κατάρρευση της αιτιακής σχέσης στο μικρόκοσμο.

Εντούτοις, οι αιτίες που προκαλούν την περίφημη «αναγωγή» ή «κράση» της «κυματοδέσμης», δηλαδή το μετασχηματισμό του κβαντικού στατιστικού συνόλου, είναι εν γένει γνωστές. Με βάση τη γνώση των συνθηκών, μπορούμε να προβλέψουμε το σύνολο των δυνατών καταστάσεων και τις αντίστοιχες πιθανότητες. Επιπλέον, μια αλλαγή των συνθηκών τροποποιεί την πιθανοτική κατανομή. Τα φαινόμενα αυτά, συνεπώς, έχουν τις αιτίες τους (αιτιότητα) και επιπλέον καθορίζονται από τις αιτίες τους (αιτιοκρατία) με συγκεκριμένο τρόπο. Στην κβαντομηχανική περίπτωση θα μπορούσαμε να μιλήσουμε για μια νέα, ευρύτερη μορφή καθορισμού (αιτιοκρατίας), η οποία υπερβαίνει τις κλασικές μορφές: τη μηχανιστική και τη δυναμική. Πρόκειται για έναν *κβαντικό στατιστικό καθορισμό*.

Εδώ δεν είναι ο χώρος για να εισέλθουμε στα «μυστήρια» της κβαντομηχανικής περιγραφής. Θα ήθελα όμως να τονίσω: 1) Την αιτιοκρατική κίνηση του ελεύθερου σωματίου. 2) Το ότι η πιθανότητα παρουσίας αντιστοιχεί σε ένα στατιστικό σύνολο ομοειδών σωματιών. 3) Ότι η περίφημη αναγωγή της κυματοδέσμης εκφράζει στρεβλά τη διαδικασία μετασχηματισμού των κβαντικών στατιστικών συνόλων. Πράγματι, οι *δυνατές καταστάσεις* δεν προϋπάρχουν σε επαλληλία και δεν «ανάγονται» κατά τη μέτρηση. Είναι δυνάμεις καταστάσεις, δυνατότητες, οι οποίες πραγματώνονται υπό καθορισμένες συνθήκες (ο χώρος Χίλμπερτ που περιγράφει το στατιστικό σύνολο δεν είναι χώρος ενεργείας, αλλά δυνάμεις καταστάσεων). Στην περίπτωση αυτή αναδεικνύεται η σχέση δυνατότητας και πραγματικότητας, του δυνάμει και του ενεργείας της αριστοτελικής φιλοσοφίας. Και η σχέση αυτή δεν αντιφάσκει με την αιτιακή συσχέτιση, όπου «το ενεργεία αποτελεί μέτρον του δυνάμει». Τέλος, θα ήθελα να τονίσω ότι ο περίφημος ρόλος του παρατηρητή κατά τη διαδικασία μέτρησης είναι απλώς ανύπαρκτος. Ο παρατηρητής δεν μετέχει άμεσα στα μεγάλα πειράματα (μετρήσεις) της μικροφυσικής. Τα νέα στοιχεία πραγματικότητας τα οποία δημιουργούνται κατά τη μέτρηση είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ δυο φυσικών συστημάτων: του μετρητικού οργάνου και του μικροσωματίου. Ο υποκειμενισμός, ο «ψυχοφυσικός παραλληλισμός» (von Neumann), ο «φίλος του Wigner» κ.λπ., όλες οι σολιψιστικές παρεκτροπές της ορθόδοξης σχολής, δεν εκφράζουν άλλο από την αδυναμία να κατανοήσουμε ένα μη γραμμικό φαινόμενο το οποίο περιγράφεται από μια γραμμική εξίσωση¹⁵.

Και τώρα μπορούμε να θέσουμε το ερώτημα: Υπάρχει κβαντικό χάος; Έχω ήδη υποδηλώσει κάποια συσχέτιση ανάμεσα στην κλασική στατιστική Μηχανική και την κβαντική Μηχανική ως θεωρία στατιστικών συνόλων, σε αντίθεση με τη single system interpretation αυτής της επιστήμης. Ορισμένοι μάλιστα συγγραφείς φτάνουν να διαπιστώνουν μια ουσιαστική ομοιότητα. Έτσι, π.χ., ο F. Bopp (και όχι μόνο αυτός) υποστηρίζει ότι η κβαντική Μηχανική είναι ένα είδος στατιστικής Μηχανικής, η οποία περιγράφει την κίνηση δυνάμει

σωματίων (virtual particles) ή συστημάτων σωματίων και ότι η περιγραφή αυτή είναι δυνατή στο χώρο των φάσεων. Βέβαια ο Bopp υποστηρίζει —όπως σημειώσαμε— ότι ακόμα και στην κλασική Μηχανική είναι αδύνατο να προσδιορίσουμε επακριβώς τη θέση του σωματίου στο χώρο των φάσεων¹⁶. Εντούτοις, τονίζοντας την ομοιότητα των δύο περιγραφών, επιχειρεί να αναδείξει τον αιτιοκρατικό χαρακτήρα και της κβαντικής Μηχανικής.

Ας αφήσουμε το περίφημο πρόβλημα της δυνατότητας μιας κβαντομηχανικής περιγραφής στο χώρο των φάσεων. Αυτό που μας ενδιαφέρει, σε σχέση με το χάος, είναι ότι στην κβαντική περίπτωση έχουμε να αντιμετωπίσουμε φαινόμενα διαφορετικής ποιότητας απ' ό,τι στο κλασικό χάος. Στην περίπτωση αυτή υπεισέρχεται εξ' υπαρχής ένα στοιχείο διαταραχής: το κβάντο δράσης, το οποίο αγνοείται στην κλασική περίπτωση. Επιπλέον, κατά τη λεγόμενη αναγωγή έχουμε μετασχηματισμό των κβαντικών σωματίων, γένεση νέων στοιχείων πραγματικότητας και νέα στατιστικά σύνολα, τα οποία αντιστοιχούν στο νέο σύνολο καταστάσεων (μίγμα).

Ας επιχειρήσουμε, συνεπώς, μια συγκεκριμένη προσέγγιση.

Στην κλασική περίπτωση το χάος εμφανίζεται κατά τη χρονική εξέλιξη του συστήματος. Το πρώτο, συνεπώς, ερώτημα είναι αν στην κβαντική περίπτωση είναι νόμιμη η έννοια της τροχιάς. Ως γνωστόν, με βάση τις ανισότητες του Χάιζενμπεργκ, η ορθόδοξη σχολή αρνείται τη νομιμότητα αυτής της έννοιας. Θα μπορούσε, λοιπόν, να υποστηριχτεί ότι στην κβαντική περίπτωση δεν υπάρχει τροχιά. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η έννοια του χάους, η οποία θεμελιώνεται στον ταχύ, εκθετικό διαχωρισμό γειτονικών τροχιών¹⁷.

Κατά τη ρεαλιστική σχολή (Ντε Μπρέιγ, Αϊνστάιν κ.λπ.), αντίθετα, η έννοια της τροχιάς είναι νόμιμη ακόμα και στην κβαντική περίπτωση. Και όπως δέχεται πάλι ο Schuster, τα κβαντικά συστήματα εκδηλώνουν χαοτικά φαινόμενα στο κλασικό όριο. Αλλά αυτό που κυρίως θα ήθελα να τονίσω είναι τα νέα φαινόμενα τα οποία εμφανίζονται στην κβαντική περίπτωση.

Σε στάσιμες καταστάσεις (αρμονικός ταλαντωτής, διεγερμένα άτομα κ.λπ.) βρισκόμαστε μπροστά σε διακεκριμένες ενεργειακές στάθμες. Στα διακεκριμένα ενεργειακά επίπεδα δεν εμφανίζεται χάος, σύμφωνα με τον Schuster. Κατά το συγγραφέα, δεν υπάρχουν κβαντικά συστήματα τα οποία εκδηλώνουν αιτιοκρατικό χάος. Φαίνεται ότι η χαοτική φύση κβαντικών συστημάτων που περιγράφονται από την κυματομηχανική, είναι ενός μάλλον λεπτού και περισσότερο ήπιου είδους απ' ό,τι το χάος στην κλασική Μηχανική¹⁸. Εντούτοις, ο συνάδελφος κ. Ευαγγέλου αναφέρθηκε σε συγκεκριμένα φαινόμενα «κβαντικού χάους» και υποστήριξε ότι το κβαντικό χάος δεν εμφανίζεται κατά τη χρονική εξέλιξη όπως το κλασικό, αλλά στην πιθανοτική κατανομή των ενεργειακών σταθμών και των δυνάμει καταστάσεων. Εντούτοις, πρόκειται για χάος ή για προβλέψιμο φάσμα δυναμικότητων; Φυσικά, όπως είναι γνωστό, οι ενεργειακές στάθμες παρουσιάζουν μια ενεργειακή διασπορά ($E \pm \Delta E$) προβλεπόμενη από τη λεγόμενη τέταρτη ανισότητα του Χάιζενμπεργκ. Αλλά αυτή η διασπορά, αντίθετα απ' ό,τι ισχυρίζεται η μη στατιστική ερμηνεία της κβαντικής Μηχανικής, μπορεί να ερμηνευτεί ως διασπορά των τιμών του στατιστικού συνόλου, η οποία προκαλείται από χαοτικές ενεργειακές ανταλλαγές με το περιβάλλον. Αλλά τότε οφείλουμε να υποθέσουμε την ύπαρξη ενός βαθύτερου, υποκβαντικού επιπέδου, στοχαστικού χαρα-

κτῆρα, ένα είδος αιθέρα Ντιράκ-Αϊνστάιν, ο οποίος αλληλεπιδρά με τα σωματία του κβαντικού επιπέδου.

4. Νέες πραγματικότητες και νέες αιτιακές σχέσεις

Η μακροσκοπική μας εμπειρία εναρμονίζεται με έναν κόσμο αυτόνομων σωμάτων, καθένα από τα οποία υπάρχει καθαυτό. Η κλασική Μηχανική θεμελιώθηκε, μεταξύ άλλων, στην έννοια του υλικού σημείου, φορέα μάζας και στερημένου από κάθε ποιοτικό χαρακτηριστικό. Το γαλιλαικό σωματίο, αναγκαίο για τη διατύπωση της μηχανικής, αποτελεί ακραία περίπτωση αφαίρεσης από τις ποιότητες και τις σχέσεις του πραγματικού κόσμου. Η εξέλιξη της Φυσικής και γενικότερα των φυσικών επιστημών ανέδειξε τα ιστορικά όρια και την εμβέλεια αυτής της έννοιας. Σήμερα η επιστήμη αντιμετωπίζει ποιότητες, ποιοτικές αλλαγές, εξελίξεις μέσα στο χρόνο. Τα βέλος του χρόνου αισθητοποιεί το κοσμικό γίνεσθαι: το ηρακλείτειο «τα πάντα ρει». Επιπλέον, το Σύμπαν εμφανίζεται όλο και περισσότερο ως ενιαία ολότητα, η οποία εγκλείει τη διαφορά και την αντίθεση. Όπου το ενιαίο όλον, το «εν το παν», δεν αντιφάσκει με την ποιοτική ποικιλία και με την *τοπικότητα*. Τις τοπικές ιδιομορφίες και τις τοπικές διαδικασίες.

Συνολικά, το μηχανιστικό παράδειγμα αποδείχτηκε αναγκαία αλλά ανεπαρκής αφαίρεση. Το ποιοτικά ανώτερο δεν μπορεί να αναχθεί στο κατώτερο, ούτε η ολότητα στο επιμέρους. Η επιστήμη ερευνά όλο και πιο σύνθετα φαινόμενα και η έννοια της πολυπλοκότητας συνεπάγεται την ανάγκη μη γραμμικών εξισώσεων (όπου μια μαθηματική περιγραφή είναι εφικτή) και μια διεύρυνση της έννοιας της αιτιοκρατίας.

As περιοριστούμε στην έννοια της διαφοροποιημένης ολότητας στη Φυσική. Η μάζα ενός σώματος θεωρήθηκε μέγεθος καθαυτό, ανεξάρτητο από το περιβάλλον. Ακόμα χειρότερα, ταυτίστηκε με τη φιλοσοφική κατηγορία της ύλης. Αλλά ο Μαχ, στην κριτική του νευτώνειου παραδείγματος, θεώρησε τη μάζα συνάρτηση του συνόλου των μαζών του «σύμπαντος». Ο Πουανκαρέ, με τη σειρά του, συσχέτισε την έννοια της μάζας με τον αιθέρα. Ο Αϊνστάιν απέριψε το 1905 την έννοια του αιθέρα ως προνομιούχου συστήματος αναφοράς. Αλλά ήδη στη γενική θεωρία της σχετικότητας (1916) η έννοια του πεδίου, που ουσιαστικοποιήθηκε από τον Μάξγουελ, γενικεύεται σε μια μονιστική αντίληψη, όπου σωματία και πεδία απολαμβάνουν το ίδιο φυσικό καθεστώς, μετατρέπονται αμοιβαία και αλληλοκαθορίζονται. Η απόρριψη της δράσης από απόσταση και η ανάδειξη της τοπικότητας και των φαινομένων ως διαδικασιών με χρονικό πάχος συνηγορούν υπέρ ενός ενιαίου και ταυτόχρονα αέναα διαφοροποιούμενου σύμπαντος.

Και ο αιθέρας; Ο Αϊνστάιν άλλαξε πολλές απόψεις ως προς αυτό το πρόβλημα. Τελικά ασπάστηκε μια άποψη κατά την οποία ο φυσικός χώρος και ο αιθέρας είναι διαφορετικές καταστάσεις του ίδιου πράγματος και τα πεδία της Φυσικής είναι καταστάσεις του χώρου. Ίσως θα ήταν πιο σύμφωνο με τη θεωρία της βαρύτητας του Αϊνστάιν να δεχτούμε ότι η ύλη και ο χώρος αποτελούν μια αδιάσπαστη ολότητα (όπου η ποσότητα των μαζικών σωματιών και των πεδίων καθορίζει τη μορφή του χώρου) και ότι η μάζα, μέτρο της αδράνειας, καθορίζεται από τη βαρυτική αλληλεπίδραση των περιβαλλουσών και των μακρινών

μαζών, με τη διαμεσολάβηση φυσικών πεδίων. Η έννοια της διαφοροποιημένης ολότητας συγκεκριμενοποιείται σ' αυτό το πρότυπο. Ο αιθέρας των Ντιράκ-Αϊνστάιν θα αντιστοιχούσε τότε σε ένα υποκβαντικό μέσο σε χαοτική κίνηση, φορέα φυσικών ιδιοτήτων, σε αλληλεπίδραση με τα σωματίδια του κβαντικού επιπέδου. Το κβαντικό χάος θα μπορούσε τότε να ερμηνευτεί ως το προσιτό αποτέλεσμα υπαρκτών και άγνωστων σήμερα αλληλεπιδράσεων.

Η έννοια του υποκβαντικού μέσου δεν είναι αυθαίρετη. Εκτός από θεωρητικά, σήμερα υποστηρίζεται και από συγκεκριμένα φυσικά δεδομένα. Πράγματι, το κενό σήμερα δεν ταυτίζεται με το δημοκρίτειο μη ον. Θεωρείται μέσο, φορέας ιδιοτήτων και μεγεθών, σε αλληλεπίδραση με τις γνωστές μορφές ύλης. Το φαινόμενο Λαμπ-Ράδερχφοντ, η αυθόρμητη διάσπαση μικροσωματίων κ.λπ., εξηγούνται με τη συμμετοχή του «κενού». Ο χαοτικός αιθέρας των Ντε Μπρέιγ, Μπωμ και Βιζιέ χρησιμοποιείται από τους δυο τελευταίους για την ερμηνεία πειραμάτων που επιχειρούν να διαψεύσουν τις προβλέψεις της κβαντικής Μηχανικής.

Στη μικροσκοπική κλίμακα φαίνεται πλέον νόμιμη η έννοια του στοχαστικού υποκβαντικού επιπέδου. Σε μια αντίστροφη κλίμακα, το γραμμικό σενάριο της μεγάλης έκρηξης φαίνεται ότι αντιμετωπίζει όλο και πιο πολύπλοκα φαινόμενα, τα οποία συνηγορούν υπέρ του κοσμικού «χάους» μάλλον παρά υπέρ της γραμμικής διαστολής. Θα αναφερθώ σε μια μόνο όψη των σχετικών προβλημάτων. Κατά τους Agr, Narliker και Radecke, παρατηρησιακά δεδομένα υποδηλώνουν την ύπαρξη ενεργών κέντρων στον εξωγαλαξιακό χώρο τα οποία εκτοξεύουν σωματίδια και κβάντα υψηλής ενέργειας. Οι συγγραφείς προτείνουν μια θεωρητική ερμηνεία στηριζόμενη στην υπόθεση ότι αυτά τα ενεργά κέντρα εξακοντίζουν νεοδημιουργημένη ύλη, η οποία διασπάται στη συνέχεια σε αδρόνια, λεπτόνια, και φωτόνια υψηλής ενέργειας. Επίσης, όπως είναι γνωστό, στο πρότυπο της κοσμολογίας οιονει σταθεράς κατάστασης των Hoyle, Burbidge και Narliker, το οποίο υποθέτει ένα σύμπαν χωρίς αρχή και χωρίς τέλος, προβλέπεται συνεχής δημιουργία ύλης¹⁹.

Η ιστορικότητα των μορφών της ύλης αποτελεί σήμερα επιστημονικό δεδομένο. Αντίστοιχα, η ύπαρξη του υποκβαντικού επιπέδου και η δημιουργία ύλης από «δεξαμενές» απρόσιτες σήμερα στην παρατήρηση είναι υποθέσεις θεμελιωμένες σε ισχυρά επιχειρήματα. Η σημερινή Φυσική και η Κοσμολογία αποκαλύπτουν ένα σύμπαν δυναμικό, σε αέναη μεταμόρφωση, σε ριζική αντίφαση με το μηχανιστικό παράδειγμα. Έστω ότι μελετούμε 10^{23} μόρια, γράφουν οι Glansdorff και Prigogine. Μπορούμε να γνωρίσουμε τη θέση και την ορμή τους; Προφανώς όχι. Αλλά τότε πρέπει να τα αντιμετωπίσουμε ως στατιστικό σύνολο και να αρχίσουμε σε μια στατιστική περιγραφή²⁰. Η στατιστική περιγραφή, κατά την κλασική αντίληψη, δεν αντιφάσκει με την αιτιοκρατία. Η διαλεκτική σκέψη, αντίστοιχα, επιχειρήσε να αναδείξει τις σχέσεις αναγκαιότητας και τυχαίου. Οι κλασικές πεδιακές θεωρίες ανέδειξαν μια νέα μορφή αιτιοκρατίας, τη δυναμική, η οποία υπερβαίνει το λαπλασιανό καθορισμό, εισάγοντας νέες αλληλεπιδράσεις, την ποιότητα και τη γένεση μορφών. Στην κβαντική Μηχανική, όπως υποστήριξα, αναδεικνύεται ένας περισσότερο περίπλοκος στατιστικός καθορισμός: ο κβαντικός. Τέλος, τα χαοτικά φαινόμενα δεν σηματοδοτούν την κατάρρευση του ντετερμινισμού: αναδεικνύουν τα όρια της κλασικής, γραμμικής αιτιοκρατίας.

5. Καταστροφές, μορφογένεση και μορφοκλασματικά

Οι θεωρίες του χάους εμφανίστηκαν την ίδια περίπου εποχή με τη θεωρία των καταστροφών και τα μορφοκλασματικά (fractals). Και οι τρεις θεωρίες αντιμετωπίζουν συστήματα με περίπλοκη, μη γραμμική συμπεριφορά, φαινόμενα εξέλιξης, αλλαγή μορφών. Ειδικά η θεωρία των καταστροφών είναι, από μια άλλη άποψη, μια θεωρία γένεσης μορφών-μορφογένεσης. Θα είχε, συνεπώς, ενδιαφέρον να ανιχνεύσουμε συσχετίσεις ανάμεσα σ' αυτές τις τρεις διαφορετικές θεωρίες.

Καταστροφή, γράφουν οι Woodcock και Davis, με την ευρύτατη έννοια που δίνει στη λέξη ο Τομ (René Thom), είναι κάθε ασυνεχής μετάβαση που συμβαίνει όταν ένα σύστημα μπορεί να έχει περισσότερες από μια καταστάσεις ή μπορεί να ακολουθήσει περισσότερους από ένα δρόμους αλλαγής. Η καταστροφή είναι το «άλμα» από μια κατάσταση σε άλλη ή από ένα δρόμο σε άλλο. Στην περίπτωση της «καταστροφής», έχουμε αλλαγή μορφών — γένεση μορφών. Αλλά η έκφραση «το σύστημα μπορεί να έχει περισσότερες από μια καταστάσεις» δεν θυμίζει χάος;

Ο Τομ τονίζει ότι κάθε μορφολογία χαρακτηρίζεται από ορισμένες ποιοτικές ασυνέχειες του υποστρώματος. Και ορίζει ως εξής ένα «καταστροφικό σημείο»: ένα σημείο x του V (V : περιοχή του χώρου υποστρώματος) θα είναι κανονικό αν υπάρχει μια γειτονία $V(x)$ στο V , τέτοια ώστε σε κάθε σημείο y του $V(x)$, η διαδικασία έχει την ίδια ποιοτική εμφάνιση με το x . Αντίθετα, κάθε καταστροφικό σημείο $x \in K$ έχει την ακόλουθη ιδιότητα: αυθαίρετα κοντά στο x υπάρχουν σημεία $y \in V$ όπου η μορφολογία δεν έχει την ίδια εμφάνιση με το x : συμβαίνει κάτι σε κάθε σφαίρα με κέντρο το x ²¹.

Ο Τομ τονίζει στη συνέχεια ότι το να δοθεί το κλειστό διάστημα των καταστροφών δεν αρκεί για την περιγραφή κάθε εμπειρικής μορφολογίας. Η συνεχής μεταβολή των ποιοτικών ιδιοτήτων του υποστρώματος διαφεύγει απ' αυτή την περιγραφή. Έτσι ο Τομ ορίζει ως μορφογένεση κάθε διαδικασία δημιουργίας ή καταστροφής μορφών και συμπληρώνει ότι δεν θα καταπιαστεί με τη φύση (υλική ή μη) του υποστρώματος των θεωρούμενων μορφών, ούτε με τη φύση των δυνάμεων που προκαλούν τις αλλαγές αυτές.

Πρόκειται, συνεπώς, για φαινομενολογία η οποία δεν υπεισέρχεται στις βαθύτερες φυσικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες του υποστρώματος που καθορίζουν την καταστροφή και τη μορφογένεση. Ο Τομ διακρίνει επτά τύπους ασυνέχειας και αντίστοιχα επτά τύπους καταστροφών. Οι επτά αυτές μορφές προκύπτουν από ένα περίφημο θεώρημα του Τομ και, έστω κι αν περιορίζονται στη γεωμετρική-μαθηματική περιγραφή, περιγράφουν συγκεκριμένα υλικά φαινόμενα καταστροφών και μορφογένεσης.

Η θεωρία των καταστροφών, γράφουν οι Woodcock και Davis, βασίζεται στην παραδοχή της δομικής σταθερότητας και τονίζει την ποιοτική μάλλον, παρά την ποσοτική κανονικότητα. Στόχος του Τομ, συνεχίζουν οι δυο συγγραφείς, δεν είναι η εξήγηση αλλά η περιγραφή. Ο τρόπος που ο Τομ συνδύασε μαθηματικές ιδέες αποτελεί συνέπεια της παραδοχής της δομικής σταθερότητας. Έτσι, το μόνο πράγμα που θα μπορούσε να περιμένει κανείς, λόγω ενός θεωρήματος, θα ήταν ότι η εμπειρική μορφολογία θα πάρει μια ορισμένη μορφή. Παρά ταύτα, η θεωρία περιγράφει πραγματικά φαινόμενα, από τις ρωγμές ενός τοίχου, το σχήμα ενός νέφους, μέχρι τους καρδιακούς παλμούς, την εγκεφαλική δραστηριότητα κ.λπ.²².

Όπως γράφει ο Arnold, η θεωρία των καταστροφών διάκειται ευνοϊκά απέναντι στη διαλεκτική-ηρακλείτεια θεώρηση του σύμπαντος, που συλλαμβάνει τον κόσμο σαν το θέατρο μάχης ανάμεσα στους διάφορους «λόγους», ανάμεσα στα διάφορα αρχέτυπα.

Η θεωρία του Νεύτωνα, σημειώνει ο Arnold, πραγματεύεται λείες, συνεχείς διαδικασίες. Η θεωρία των καταστροφών, αντίθετα, παρέχει μια καθολική μέθοδο για τη μελέτη των αλματωδών μεταβάσεων, των ασυνεχειών, των ξαφνικών ποιοτικών αλλαγών. Αλλά στο τοπίο των Ουάντιγκτον και Τομ υπάρχουν λεκανοπέδια και κοιλάδες που «έλκουν» διεργασίες. Οι «παράξενοι ελκυστές» των θεωριών του χάους εμφανίζονται και στα πρότυπα της θεωρίας των καταστροφών. Κατά τους Woodcock και Davis, το μέλλον θα δείξει αν η θεωρία των καταστροφών μπορεί να περιγράψει με επάρκεια τη χαώδη συμπεριφορά συστημάτων που συλλαμβάνονται από τους ελκυστές αυτούς.

Ο Arnold, στο βιβλίο του για τη θεωρία των καταστροφών, σημειώνει την απώλεια ευστάθειας και ονομάζει δριμεία την περίπτωση όπου το σύστημα αφήνει τη στάσιμη κατάσταση μέσω ενός άλματος προς μια διαφορετική κατάσταση κίνησης. Οι στάσιμες καταστάσεις κίνησης ονομάστηκαν *ελκυστές*, από τη στιγμή που έλκουν τις γειτονικές καταστάσεις. Ένας ελκυστής είναι ένα σύνολο έλξης στο χώρο των φάσεων. Ελκυστές που δεν είναι καταστάσεις ισορροπίας ή απόλυτα περιοδικές ταλαντώσεις καλούνται *παράξενοι ελκυστές* και σχετίζονται με την τύρφη. Η μετάβαση ενός συστήματος σε μια κατάσταση που είναι παράξενος ελκυστής σημαίνει ότι παρατηρούνται μη περιοδικές ταλαντώσεις, των οποίων οι ακριβείς λεπτομέρειες είναι πολύ ευαίσθητες σε μικρές μεταβολές των αρχικών συνθηκών²³.

Η γλώσσα της θεωρίας των καταστροφών θυμίζει, απ' αυτή την άποψη, τη γλώσσα της θεωρίας του χάους. Οι δυο προσεγγίσεις μη γραμμικών μεταβολών δεν είναι ίσως τόσο ξένες όσο δηλώνουν τα ονόματά τους.

Η θεωρία των καταστροφών παρουσιάζει τυπικές και ουσιαστικές ομοιότητες με τις θεωρίες του χάους και μπορεί να περιγράψει τη χαώδη συμπεριφορά συστημάτων που συλλαμβάνονται από ελκυστές. Και τα fractals;

Οι μορφοκλασματικές μορφές χαρακτηρίζονται, ως γνωστόν, από αναλλοίωτες ιδιότητες σε αλλαγή κλίμακας και από κλασματικούς βαθμούς ελευθερίας. Οι αποκλίνουσες τροχιές ενός χαοτικού συνόλου συγκεντρώνονται, όπως σημειώθηκε, σε ένα σύνολο στο χώρο των φάσεων: τον παράξενο ή χαοτικό ελκυστή. Αλλά ο ελκυστής ανήκει στην κατηγορία των fractals. Τα fractals είναι επίσης πολύπλοκες μορφές με τάση για ελάχιστη επιφάνεια, όγκο κ.λπ. Οι πνεύμονες, ο προστάτης, τα τοιχώματα του λεπτού εντέρου κ.λπ., κ.λπ., έχουν μορφή fractals.

Συμπέρασμα: ανάμεσα στις τρεις θεωρίες υπάρχουν τυπικές και ουσιαστικές ομοιότητες. Και οι τρεις ασχολούνται με πολύπλοκα συστήματα που δεν περιγράφονται με απλές γραμμικές εξισώσεις. Και οι τρεις αντιμετωπίζουν φαινόμενα κίνησης, εξέλιξης, αλλαγής, καταστροφής και δημιουργίας μορφών. Και οι τρεις προϋποθέτουν αιτιακές σχέσεις που υπερβαίνουν τη γραμμική αιτιότητα.

6. Τελική παρατήρηση

«Φύσις κρύπτεσθαι φιλεί». Ο σοφός της Εφέσου αναζητούσε το Λόγο πίσω από την απατηλή, χαώδη μορφή των φαινομένων. Η επιστήμη στις μέρες μας αναζητεί την τάξη μέσα στο χάος, τις κρυμμένες μορφές, τις λανθάνουσες σχέσεις και δυναμικότητες. Αυτό που ήταν άγνωστο γίνεται φανερό στην πορεία και το κρυμμένο δεν είναι το απροσπέλαστο «πρόγραμμα καθαυτό» του Καντ. Πίσω από τα φαινόμενα η επιστήμη θα ανιχνεύσει το κρυμμένο και θα το αναδείξει —αν όχι στο επίπεδο της εποπτείας, τουλάχιστον στο επίπεδο της θεωρητικής γνώσης.

Στην αφετηρία της η Φυσική αντιμετώπισε απλά φαινόμενα όπως η πτώση ή η κίνηση, τα οποία απέκοψε από το σύνολο των καθορισμών τους. Οι στατικοί, ανιστορικοί νόμοι ήταν η πρώτη συγκομιδή. Στην πορεία διατυπώθηκαν νόμοι δυναμικοί και εξελικτικοί, όπου υπεισέρχεται πλέον η παράμετρος του χρόνου. Σήμερα συλλαμβάνουμε το προσιτό μέρος του Σύμπαντος ως ολότητα που εκδιπλώνει μορφές και δομές στο χωρόχρονο, ακολουθώντας το βέλος του χρόνου. Οι επιστήμες της πολυπλοκότητας είναι νέοι κλάδοι που επιχειρούν να προχωρήσουν πέρα από τη γραμμική αιτιότητα. Πρόκειται για την ανάδυση μιας νέας επιστημονικής Ηπείρου;

Σημειώσεις και Παραπομπές

1. Μια διευκρίνιση των δύο όρων: Αιτιότητα σημαίνει ότι κάθε φαινόμενο προκαλείται από κάποιο (ή κάποια) αιτία. Αιτοκρατία σημαίνει ότι το φαινόμενο καθορίζεται από τις αιτίες με συγκεκριμένη μορφή.
2. Ψευδο-ευκλείδειος χώρος: Ο χώρος αυτός (χώρος Μινκόφσκι) ορίζεται από ένα διάστημα στο οποίο υπεισέρχεται ως τέταρτη διάσταση ο χρόνος (χωροχρονικό διάστημα). Η μετρική αυτού του χώρου δεν είναι σταθερή: Το διάστημα ανάμεσα σε δυο διαφορετικά σημεία μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή μηδενικό. Ο χώρος αυτός είναι το κατάλληλο γεωμετρικό πλαίσιο για την περιγραφή των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Στο πλαίσιο αυτό, οι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού διατηρούν την ίδια μορφή (αναλλοίωτο) για όλα τα αδρανειακά συστήματα.
3. Ένα σημείο του χώρου των φάσεων ορίζεται από τις τρεις συνιστώσες της θέσης και τις τρεις συνιστώσες της ορμής. Στο χώρο αυτό παρακολουθούμε την αιτοκρατική εξέλιξη του συστήματος.
4. Καλείται πλέγμα ένα σύνολο όπου κάθε ζεύγος στοιχείων έχει ένα ανώτερο και ένα κατώτερο φράγμα (V, Λ). Ένα πλέγμα λέγεται επιμεριστικό αν καθενιά από τις πράξεις (V, Λ) είναι επιμεριστική ως προς την άλλη. Ένα πλέγμα επιμεριστικό και συμπληρωμένο είναι ένα πλέγμα Boole.
5. Μια πρόταση α είναι ατομική αν δεν υπάρχει πρόταση b που αφορά το σύστημα η οποία θα ήταν διαφορετική από τη μηδενική και θα συνεπαγόταν την α, χωρίς να ταυτίζεται μ' αυτή.
6. Βλ. E. Bitsakis, *Foundations of Physics*, 18, 331 (1988). Id, *La Pensée*, 307, 137 (1996). Id, *Le Nouveau Réalisme scientifique*, L'Harmattan, Paris 1998.
7. Βλ. F. Bopp, στο *Observation and Interpretation*, S. Körner (Ed.), Butterworths Publ, London 1957.
8. Βλ. Max Born, *Physics Bulletin*, 11, 49, 304 (1955).
9. Βλ. Max Born, *Journale de Physique et de Radium*, 20, 43 (1959).
10. Βλ. H. G. Schuster, *Deterministic Chaos*, VCH, 1989, passim.
11. Βλ. Μπούντης, στο παρόν τεύχος. Οι παράξενοι ελκυστές για μη διατηρητικά συστήματα ανακαλύφθηκαν από τον Lorenz.
12. Βλ. H.G. Schuster, *op.cit.*, p. 185.
13. Βλ. Ι.Σ. Νίκολης, στο παρόν τεύχος.
14. Βλ. Σπ. Ευαγγέλου, στο παρόν τεύχος.

15. Για τα ζητήματα αυτά, βλ. E. Bitsakis, *Found. of Physics*, op.cit. Id, *Physique et Matérialisme*, Ed. Sociales, Paris 1983. Id, *Le Nouveau Réalisme Scientifique*, op.cit. Στη γλώσσα μας, *Τα Επνολογικά Θεμέλια της Κβαντικής Μηχανικής*, Διατριβή για Υφηγεσία, 1979. *Το Αειθαλές Δέντρο της Γνώσεως*, Στάχυ, 1995. *Είνα και Γίγνεσθαι*, Στάχυ, 1996.
 16. F. Bopp, *op. cit.*
 17. H.G. Schuster, *op. cit.*, p. 210.
 18. *Ibid*, pp. 209-221.
 19. Βλ. Agr, Narliker, Radecke, *Astroparticle Physics*, 6, 387 (1977). Για τις σχέσεις ύλης, μάζας και ενέργειας, βλ. E. Bitsakis, *Foundations of Physics*, 21, 63 (1991).
 20. P. Glansdorff, I. Prigogine, *Structure, Stabilité et Fluctuations*, Masson, Paris 1971, Εισαγωγή.
 21. René Thom, *Modèles Mathématiques de la Morphogenèse*, 10/18, Union Génèraql d'Éditions, Paris 1974, pp. 9-10.
 22. Για συγκεκριμένες λεπτομέρειες βλ. τα κείμενα των Νίκολη και Ταμπάκη στο παρόν τεύχος.
 23. V.I. Arnol, *Θεωρία καταστροφών* (μετ. Θ. Χριστακόπουλος), Gutenberg, 1993, σσ. 46-59. (Αγγλικό κείμενο: *Catastrophe Theory*, Springer-Verlag, Berlin 1986).
- Σημείωση:* Το κείμενο αυτό βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στα βιβλία: V.I. Arnol, *Catastrophe Theory*, op.cit. - P. Glansdorf και I. Prigogine, *Structure, Stabilité et Fluctuations*, op.cit. - I. Prigogine, *From Being to Becoming*, Freeman, N.Y. 1980 - H.G. Schuster, *Deterministic Chaos*, op.cit. - René Thom, *Modèles Mathématiques de Morphogenèse*, op.cit. - A. Koodcock και M. Davis, *Θεωρία των καταστροφών* (μετ. Ν. Ταμπάκη), I. Ζαχαρόπουλος, 1988.