

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ - ΧΑΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΠΛΟΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ Κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΗ

Γιὰ τὴν μεγάλη πλειονότητα τῶν ἐιδικῶν καὶ τοῦ μεγάλου κοινοῦ, ὁ ρόλος τῶν φυσικῶν ἐπιστημῶν συνίσταται στὴν ἐξεύρεση ἀλγορίθμων ποὺ ἐξηγοῦν τὰ φυσικὰ φαινόμενα μὲ βάση τὶς στοιχειώδεις δομικὲς μονάδες τοῦ σύμπαντος καὶ τὶς ἀλληλεπιδράσεις τους. Ἡ κίνηση τῶν οὐρανίων σωμάτων, ἡ σύσταση τῶν πυρηνῶν, ἀτόμων, μορίων ἢ τοῦ γεννητικοῦ ὕλικου, εἶναι μερικὰ ἀπὸ τὰ πολυάριθμα παραδείγματα τῆς τεράστιας ἐπιτυχίας τῆς ἀπόψεως αὐτῆς. Θεμέλιο τῶν πιδ ἐντυπωσιακῶν ἐπιτεγμάτων τῆς σύγχρονης ἐπιστήμης, ἀπὸ τὴν ἐποχὴ τοῦ ἰδρυτοῦ της Ι. Νεύτωνα μέχρι τὶς μέρες μας.

Ριζωμένη βαθειὰ μέσα στὸ κλασσικὸ δόγμα, σύμφωνα μὲ τὸ ὁποῖο τὰ φυσικὰ φαινόμενα ἀνάγονται σὲ ὁρισμένες θεμελιώδεις ἀλληλεπιδράσεις, βρίσκεται ἡ ἰδέα ὅτι ὑπὸ καθωρισμένες συνθῆκες ἔνα σύστημα ποὺ κυβερνᾶται ἀπὸ δεδομένους νόμους θὰ ἀκολουθήσει μιὰ μοναδικὴ ἐξελικτικὴ ὁδὸ, καὶ ὅτι μιὰ μικρὴ ἀλλαγὴ στὰ ἀρχικὰ αἷτια θὰ προκαλέσει μιὰ ἐξ ἴσου μικρὴ ἀλλαγὴ στὰ μελλοντικὰ ἀποτελέσματα. Ὅμως, παρὰ ὅλη τὴν γοητεία ποὺ ἡ ἰδέα αὐτὴ τῆς τάξης, προγνωστικότητας καὶ πρωταρχικῆς ἀπλότητας μπορεῖ νὰ ἐξασκεῖ στὴν σκέψη τοῦ καθενός, ἡ καθημερινὴ ἐμπειρία μᾶς ὁδηγεῖ στὴν ἀναπόφευκτη διαπίστωση ὅτι, ἂν μερικὰ φαινόμενα ἀναγόνται πράγματι στὸ παρπάνω κλασσικὸ ἀρχέτυπο, ἔνα πλῆθος ἄλλων ξεφεύγει ὁλοκληρωτικὰ ἀπ' αὐτό. Στὴν ἀπλοϊκὴ τῆς μορφῆς, ἡ θεωρία προβλέπει ὅτι ἔνα στερεοποιούμενο σῶμα θὰ δώσει λαβὴ σ' ἔνα κρύσταλλο ποὺ θὰ χαρακτηρίζεται ἀπὸ μιὰ σύμφωνη συμπεριφορὰ καὶ ἀπὸ αὐστηρὰ καθωρισμένες συμμετρίες. Στὴν πράξη, ἂ τ α ξ ί α καὶ ἂ σ υ μ φ ω ν ί α ὑπὸ μορφὴ ἀτελειῶν διαφορῶν εἰδῶν ἐπικρατοῦν καὶ ὁδηγοῦν σὲ δομὲς μὲ σπασμένες συμμετρίες, προικισμένες μὲ ἀξιοσημείωτες μηχανικὲς, ἠλεκτρικὲς, μαγνητικὲς ἢ πληροφοριακὲς ιδιότητες ὅπως π.χ. τὰ πορώδη ὕλικά ἢ ὕλικά μὲ τυχαία κατανομὴ μαγνητικῶν ροπῶν. Ροὲς μεγάλης κλίμακος σὲ φυσικὲς συνθῆκες (ἀτμόσφαιρα, ὠκεανοὶ) ἢ σὲ συσκευὲς βιομηχανικοῦ ἐνδιαφέροντος (μηχανὲς ἐσωτερικῆς καύσεως, χημικοὶ ἀντιδραστήρες) εἶναι χωρὶς ἐξαίρεση τυρβώδεις, μιὰ ιδιότητα ποὺ συνεπάγεται χωροχρονικὴ ἀταξία καὶ ἀσυμφωνία καθὼς καὶ περιορισμοὺς στὴν πρόβλεψη καὶ τὸν ἔλεγχό τους. Στὴν οὐσία ἡ κοινὴ ἐμπειρία μᾶς δείχνει ὅτι ἡ συντριπτικὴ πλειοψηφία τῶν φαινομένων ποὺ λαμβάνουν χώρα σὲ μακροσκοπικὴ κλίμακα — τὴν κλίμακα τῶν καθημερινῶν δραστηριοτήτων μας—

συνίστανται σ' ἓνα μίγμα τάξης καὶ ἀταξίας σὲ συνεχῇ συνόπαρξη, πὺν τοὺς ἐντυπώνει χαρακτηριστικὰ ἐνδιάμεσα ἀνάμεσα σ' αὐτὰ τοῦ ἀπολιθώματος καὶ τοῦ τυχαίου θορύβου, χαρακτηριστικὰ πὺν προκαλοῦν στὸν παρατηρητὴ τὴν αἴσθησιν τῆς πολυπλοκότητος.

Περίεργως, παρ' ὅλο τὸν μᾶλλον προφανῇ χαρακτήρα τῶν παραπάνω διατυπώσεων, ἡ κυριαρχοῦσα ἄποψη παρέμενε ἐπὶ καιρὸ —καὶ παραμένει, ἐν πολλοῖς, ἀκόμῃ καὶ σήμερα —ὅτι μιὰ πρωταρχικὴ ἀπλότητα μὲ τὶς χαρακτηριστικὲς τῆς συνέπειες τῆς τάξεως καὶ τῆς ἀπεριορίστου προγνωστικότητος εἶναι ἐφικτὴ, τουλάχιστον κατ' ἀρχήν. Θὰ ἀρκοῦσε γιὰ τὸ σκοπὸ αὐτὸ νὰ συγκεντρῶσει κανεὶς μιὰ ἀρκετὴ ποσότητα δεδομένων καὶ νὰ ἀναλύσει τὴν πληροφορία αὐτὴ μὲ τὸν κατάλληλο τρόπο. Μὲ ἄλλα λόγια, ἡ ἄποψη ἦταν ὅτι ἡ πολυπλοκότης δὲν εἶναι μιὰ πρωταρχικὴ ιδιότητα τῆς φύσεως ἀλλὰ, μᾶλλον, ἓνα παρασιτικὸ φαινόμενο, ἓνα προσωρινὸ κώλυμα προερχόμενο ἀπὸ τὴν παρουσία ἐνὸς μεγάλου ἀριθμοῦ μεταβλητῶν καὶ παραμέτρων πὺν ἐπισκιάζουν κάποια θεμελιώδη ὀργανωτικὴ ἀρχή.

Ἡ συντηρητικὴ αὐτὴ στάσις ὁδήγησε στὸ περίεργο ἱστορικὸ φαινόμενο, ὅτι ἡ σύγχρονη θεωρία τῆς μὴ γραμμικῆς δυναμικῆς, χάους καὶ πολυπλόκων συστημάτων, γεννήθηκε ὅχι ἀπὸ τὴν ἀπόπειρα ἐρμηνείας τῆς πολυπλοκῆς συμπεριφορᾶς πολυπλόκων συστημάτων πὺν συναντοῦμε στὴ φύσιν, ἀλλὰ ἀπὸ τὴν ἀνακάλυψιν (οὐσιαστικὰ τῶν τελευταίων δύο δεκαετιῶν) ὅτι κοινὰ συστήματα πὺν θὰ τείναμε νὰ χαρακτηρίσουμε ὡς «ἀπλά», συστήματα πὺν ὑπακούουν σὲ νόμους γνωστοὺς μέχρι καὶ τὴν τελευταία τους λεπτομέρεια, δίδουν λαβὴ στὸ ἐργαστήριον ὑπὸ αὐστηρὰ ἐλεγχόμενες συνθῆκες σὲ μιὰ μεγάλη ποικιλία ἐκπληκτικῶν συμπεριφορῶν πὺν ἀδίστακτα θὰ χαρακτηρίζε κανεὶς σὰν «πολύπλοκες»: ἀπτόμες μεταβολές, πολλὲς συνυπάρχουσες καταστάσεις, αὐτο-ὀργάνωσις καὶ συναφῇ συμπεριφορὰ, ἡ ἀντιθέτως ἀταξία στὸν χῶρον ἢ στὸν χρόνον, στὴν ὁποία ἀναφερόμαστε σὰν ντετερμινιστικὸ χάος. Τὰ φαινόμενα αὐτὰ παραμένουν, ὅποια καὶ νὰ εἶναι, ἡ ἀκρίβεια τῶν παρατηρήσεών μας: Ἡ ἰδέα νὰ τὰ ἀποδώσει κανεὶς σὲ ἑλλιπῆ πληροφορία δὲν ἔχει πιά καμμιά βάση —ἡ πολυπλοκότης εἶναι ριζωμένη βαθειὰ στοὺς Θεμελιώδεις νόμους τῆς φύσεως.

Ἡ ἀνακάλυψιν ὅτι ἀπλὰ συστήματα δίδουν λαβὴ σὲ πολυπλοκὴ συμπεριφορὰ σήμανε τὴν ἀρχὴ μιᾶς γιγαντιαίας προσπάθειας γιὰ τὴν ἀνάπτυξιν νέων μεθόδων μελέτης τῆς πολυπλοκότητος, ἡ ὁποία ὁδήγησε στὴν Μὴ Γραμμικὴ Ἐπιστήμην στὴν σημερινὴ της μορφή. Οἱ μεθοδολογίαι αὐτὲς ἄνοιξαν καινούριους ὁρίζοντες, δείχνοντάς μας ὅτι ὁ ἀπεριορίστος πλοῦτος τῶν δομῶν καὶ τῶν ἐξελικτικῶν διαδικασιῶν πὺν παρατηροῦμε στὴ φύσιν δὲν εἶναι κατ' ἀνάγκην τὸ πιστὸ ἀντίγραφο ἐνὸς συγκρίσιμου πλούτου ἐγγεγραμμένου στὸν φυσικὸ νόμον: ἀντιθέτως, ἡ δράσις στοιχειωδῶν νόμων σ' ἓνα μεγάλο ἀριθμὸ στοιχείων πὺν ἀποτελοῦν ἓνα σύστημα ἐπὶ ἓνα ἀρκετὰ

μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να οδηγήσει σε μιὰ πολύπλοκη συμπεριφορά, γεννήτρια δομῶν καὶ ἐξελίξεων χαρακτηριζομένων ἀπὸ νέες, συλλογικὲς ιδιότητες ποὺ δὲν ἀνάγονται κατὰ κανένα τρόπο σ' αὐτὲς τῶν ἐπὶ μέρους στοιχείων.

Ὁ σκοπὸς τῆς διαλέξεως αὐτῆς εἶναι ἡ ἐξήγηση τῶν μηχανισμῶν ποὺ διέπουν τὴν συμπεριφορὰ τῶν πολυπλόκων συστημάτων καθὼς καὶ ἡ παρουσίαση σχολίων ὡς πρὸς τὶς ἐπιπτώσεις τῆς μὴ γραμμικῆς ἐπιστήμης στὴν ἀνάλυση προβλημάτων καιρίου ἐνδιαφέροντος σὲ διάφορους κλάδους τῆς θεμελιώδους καὶ τῆς τεχνολογικῆς ἔρευνας. Μιὰ σύντομη ἀνασκόπηση τῶν σημείων αὐτῶν ἔχει ὡς ἑξῆς:

— Ἡ μεταβάση πρὸς τὴν πολυπλοκότητα: Πῶς τὰ φυσικὰ συστήματα ξεφεύγουν ἀπὸ τὴν τυραννία καὶ μονοτονία τῆς θερμοδυναμικῆς ἰσορροπίας χάρις στὸ ἀνοιγμὰ τους πρὸς τὸ περιβάλλον καὶ στὴν ὑπαρξη συνεργητικῶν διαδικασιῶν ὀφειλομένων στὸν μὴ γραμμικὸ χαρακτήρα τῶν νόμων ποὺ διέπουν τὴν χρονικὴ ἐξέλιξη.

— Χαρακτηρισμοὶ τῶν πολυπλόκων συστημάτων: Ἀναλυτικὴ ὁδός. Ἡ ἀστάθεια μιᾶς ἀρχικῆς καταστάσεως καὶ ἡ διακλάδωση νέων ἐνσταθῶν καταστάσεων, ὅταν οἱ σύνδεσμοι ποὺ ἐξασκοῦνται ἀπὸ τὸ περιβάλλον ὑπερβαίνουν ἓνα κρίσιμο κατώφλι.

Γεωμετρικὴ ὁδός. Ἡ δυναμικὴ τοῦ συστήματος ἀπεικονίζεται στὸ χῶρο τῶν φάσεων. Στὸ χῶρο αὐτὸ οἱ στιγμιαῖες καταστάσεις διαγράφουν μιὰ τροχιά ποὺ τείνει γιὰ μεγάλους χρόνους σὲ μιὰ χαρακτηριστικὴ δομή, τὸν ἐλκυστή.

Συμβολικὴ δυναμική. Ἀπεικόνιση τῆς δυναμικῆς, σὲ περίπτωση χαοτικῆς συμπεριφορᾶς, ὑπὸ μορφὴ ἀκολουθίας συμβόλων ποὺ ὑπακούουν σὲ στατιστικὸς νόμους ὑπαγορευμένους ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ χρονικὴ δυναμική.

Ἐφαρμογές:

— Ὑδροδυναμικὴ, χημεία, φυσικὴ ὕλικῶν, ὀπτική...

— Βιολογία, ἰδιαίτερα ἐμβρυολογία, χρονοβιολογία καὶ νευροβιολογία.

— Φυσικὴ περιβάλλοντος, μετεωρολογία, κλιματικὴ δυναμική.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- G. Nikolis and I. Prigogine, «Exploring complexity», Freeman, New York (1989).
 P. Davies (ed.), «The new physics», Cambridge University Press, Cambridge (1989).
 G. Nicolis, «Introduction to nuclear science», Cambridge University Press, Cambridge (1995).

* Τὸ ἀνωτέρω κείμενο ἀποτελεῖ περίληψη τῆς ὁμιλίας.