

**Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΧΑΟΥΣ:
ΣΥΝΤΟΜΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΔΙΔΑΓΜΑΤΑ**
Του Έραστου Φίλου¹

Εισαγωγή

Πετάμε με το αεροπλάνο, η πτήση κυλάει ομαλά, οι αεροσυνοδοί σερβίρουν ποτά στους επιβάτες, όταν ξαφνικά το αεροπλάνο αρχίζει να κλυδωνίζεται, να γέρνει μια στα δεξιά, μια στα αριστερά, οι επιβάτες να νοιώθουν σαν να πέφτουν στο κενό κι πάλι να σφίγγονται στο κάθισμά τους. Ο πιλότος αναγγέλλει πως περνάμε από ένα σημείο στροβίλων στην ατμόσφαιρα, το οποίο όμως θα ξεπεράσουμε σε λίγο, αλλά για την ασφάλειά τους οι επιβάτες παρακαλούνται να φορέσουν τις ζώνες ασφαλείας τους. Στο σημείο του αιθέρα που διασχίζει το αεροπλάνο κυριαρχεί χάος στα ατμοσφαιρικά ρεύματα, φαινόμενο φυσικό.

Σε πολλές περιπτώσεις στην καθημερινή μας ζωή ερχόμαστε αντιμέτωποι με το χάος στην επιστημονική του έννοια: ο καπνός που ανεβαίνει ομαλά στον αέρα και ξαφνικά διασκορπίζεται ραγδαία, η βρύση που στάζει κανονικά, σταγόνα με τη σταγόνα, έπειτα μια παύση, μετά δυο-δυο οι σταγόνες κοντά-κοντά, και πάλι ξανά στον αρχικό τους ρυθμό. Το ταξίδι στον αυτοκινητόδρομο με τα ανεξήγητα μπουτιλιαρίσματα. Οι ανεξήγητες διακυμάνσεις των δεικτών στο χρηματιστήριο. Οι ανεξήγητες συγκυρίες που οδηγούν έθνη και λαούς σε πόλεμο ... Όλα αυτά μπορούν να εξηγηθούν μέσω της θεωρίας του χάους. Το χάος ανήκει στην καθημερινότητά μας.

Προτού όμως προχωρήσουμε στην περιγραφή της θεωρίας του χάους ας προσπαθήσουμε να ορίσουμε την έννοια του. Στην αρχαιότητα το χάος αποτελούσε το πρώτο στοιχείο της κοσμογονίας, ύλη εν είδει νεφέλης και σκότους. Σήμερα συνδέουμε με το χάος πλήρη σύγχυση και αταξία. Στη φυσική το χάος συνδέεται με μη προβλεπτικότητα και έλλειψη πληροφορίας.

¹ Ο Έραστος Φίλος σπούδασε φυσική (MSc) και κατέχει διδακτορικό στη φυσικοχημεία από το Πανεπιστήμιο της Κωνσταντίας στη Γερμανία. Δούλεψε σε μεγάλες βιομηχανικές επιχειρήσεις. Σήμερα διευθύνει τον τομέα "Ευφυή Συστήματα Παραγωγής" στο ερευνητικό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στις Βρυξέλλες

Ιστορική αναδρομή και εξελίξεις

Για πολύ καιρό εκεί που επικρατούσε το χάος η κλασική επιστήμη δεν είχε τρόπους εξήγησης και αντιμετώπισής του. Οι επιστήμονες ζούσαν με την άγνοια του ανεξήγητου, δηλαδή της αταξίας που κυριαρχεί στα ατμοσφαιρικά ρεύματα, στους στροβίλους της θάλασσας, ακόμη και στις διακυμάνσεις των ζωικών πληθυσμών. Η ανώμαλη, ασταθής, ασυνεχής πλευρά της φύσης προκαλούσε από παλιά αινίγματα στην επιστήμη.

Φυσική

Το 1963, ο Edward Lorenz, μετεωρολόγος στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασσαχουσέτης (MIT), δημοσίευσε ένα πρωτοποριακό άρθρο[1] που κατέληγε στη διαπίστωση ότι " ... όσον αφορά την πρόβλεψη του καιρού σε ένα αρκετά μακρινό μέλλον, αυτό είναι εντελώς αδύνατο ...". Ο Lorenz χρησιμοποίησε μαθηματικά μοντέλα και προσομοιώσεις της ροής μορίων στην ατμόσφαιρα για να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η μακρόχρονη πρόβλεψη του καιρού σε παγκόσμια κλίμακα είναι αδύνατη, λόγω του ότι το αντικείμενο, δηλαδή οι καιρικές συνθήκες, αποτελεί σύστημα αρκετά πολύπλοκο.

Όμως οι έρευνες του Lorenz έδωσαν την αφορμή για τη δημιουργία μιας έννοιας που αργότερα θα γινόταν παγκοσμίως γνωστή σαν το "φαινόμενο της πεταλούδας". Το απαλό φτερουγισμό της στο Πεκίνο αρκεί για να επιφέρει συνθήκες θύελλας στη Νέα Υόρκη λίγες μέρες αργότερα. Αρκεί δηλαδή μια μικρή παρέκκλιση στις αρχικές συνθήκες ενός πολύπλοκου συστήματος, όπως το μετεωρολογικό σύστημα, ώστε να επέλθει το "χάος".

Η μεταφορική αυτή έννοια του "φαινομένου της πεταλούδας" εκφράζει κάτι που θεωρείται χαρακτηριστικό απλών αλλά ιδιαίτερα πολυσύνθετων χαοτικών συστημάτων: την ευαίσθητη εξάρτησή τους από τις αρχικές συνθήκες. Η χαώδης συμπεριφορά συνδέεται με συστήματα "διασκεδασμού" όπως τα ονομάζουν οι φυσικοί, δηλαδή συστήματα στα οποία παρατηρούνται απώλειες λόγω τριβής, όπως για παράδειγμα η ροή του νερού μέσα σ' έναν σωλήνα ή ο δίσκος του χόκεϊ επί πάγου καθώς αυτός κινείται στην επιφάνεια του. Τέτοια συστήματα και η συμπεριφορά τους περιγράφονται μαθηματικά μέσω μη γραμμικών εξισώσεων. Τέτοιες εξισώσεις θεωρούνται όμως δύσκολες και σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι ολοκληρώσιμες, λύνονται δηλαδή μόνο αριθμητικά και με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτός είναι ένας από τους κύριους λόγους που πολλοί φυσικοί και μαθηματικοί δεν έδιναν μέχρι πρότινος πολλή προσοχή στην

περιγραφή τέτοιων φαινομένων. Χαώδη συστήματα που αφενός ακολουθούν τους νόμους της κλασικής μηχανικής, αφ' ετέρου περιγράφονται μέσω μη γραμμικών εξισώσεων, δείχνουν μια παράδοξη συμπεριφορά: είναι αιτιοκρατικά², μακροπρόθεσμα όμως τα χαρακτηρίζει η μη προβλεπτικότητα.

Βιολογία

Το 1975 ο βιολόγος Robert May δημοσίευσε στο επιστημονικό περιοδικό Nature ένα άρθρο στο οποίο οι έννοιες της θεωρίας του χάους έβρισκαν την εφαρμογή τους για την εξήγηση της αύξησης βιολογικών πληθυσμών[2]. Ο τρόπος προσέγγισης του May προκάλεσε πολλούς βιολόγους να δουν από διαφορετική σκοπιά το θέμα της αύξησης βιολογικών πληθυσμών. Μέχρι τότε εξηγούσαν τον τρόπο αύξησης, π.χ. του αριθμού των ελαφιών στα δάση ορισμένων περιοχών, με τα συνηθισμένα μαθηματικά μοντέλα, τα οποία όμως παρουσίαζαν σφάλματα που οι βιολόγοι τα απέδιδαν στις επιδράσεις μετεωρολογικών ή επιδημικών παραγόντων. Ο May όμως μπόρεσε να δείξει ότι τέτοιου είδους "σφάλματα" μπορούσαν να ενσωματωθούν στα μαθηματικά μοντέλα και να οδηγήσουν σε ασφαλέστερα συμπεράσματα.

Το συμπτωματικό γεγονός ότι ο May είχε πτυχίο και στη θεωρητική φυσική είναι χαρακτηριστικό για τον νέο τρόπο προσέγγισης που απαιτείται σήμερα όλο και περισσότερο στην έρευνα. Τα θέματα με τα οποία ασχολείται η επιστήμη σήμερα προϋποθέτουν πλατειά εκπαίδευση και ευρύ πνεύμα.

Χημεία

Την δεκαετία του '60 και '70 νέες ανακαλύψεις στη χημεία, τη θερμοδυναμική και τα μαθηματικά σηματοδότησαν μια αλλαγή σκέψης προς την κατεύθυνση της έρευνας του χάους. Όπως σημαντική ήταν η έρευνα του βέλγου φυσικού, ρώσικης καταγωγής, Ilya Prigogine, ο οποίος το 1977 τιμήθηκε με το βραβείο Νομπέλ χημείας για την έρευνά του στον τομέα της θερμοδυναμικής της μη ισορροπίας. Σ' ένα πρόσφατό του έργο [3] ο Prigogine επισημαίνει ότι οι ιδέες του χάους, της μη αντιστροφής του χρόνου και των συστημάτων διασκεδασμού αλληλοσυνδέονται και μπορούν να οδηγήσουν σε μια νέα πιο ρεαλιστική θεώρηση του φυσικού κόσμου. Με ένα απλό παράδειγμα δείχνει ότι η αύξηση της εντροπίας δεν συνδέεται αποκλειστικά με την αταξία ενός συστήματος, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε νέες μορφές τάξης και οργάνωσης.

² Αιτιοκρατία σημαίνει ότι ένα σύστημα κυβερνάται από τους φυσικούς νόμους κατά τέτοιο τρόπο ώστε πάντοτε η ίδια αιτία να φέρνει το ίδιο (προβλεπόμενο) αποτέλεσμα

Μαθηματικά

Την δεκαετία του '70 ο γάλλος φυσικομαθηματικός, Benoît Mandelbrot, που δούλεψε στο ερευνητικό κέντρο της εταιρίας IBM, πρωτοπόρησε σ' έναν τότε νέο τομέα των μαθηματικών που έγινε γνωστός ως γεωμετρία των φράκταλ. Μπορούμε να πούμε πως ο Mandelbrot και άλλοι δημιούργησαν έναν νέο τύπο γεωμετρίας που περιγράφει ακριβέστερα από την κλασική, ευκλίδεια γεωμετρία την πολυπλοκότητα που συναντάμε στη φύση (όπως είναι οι ακτογραμμές, τα σχήματα χιονονυφάδων, σύννεφων, αστραπών, θραύσεων σε μέταλλα και κρύσταλλα).

Τα πιο γνωστά φράκταλ είναι αυτά που συσχετίζονται με το σύνολο Mandelbrot, το οποίο περιγράφεται με μια επαναλαμβανόμενη τετραγωνική εξίσωση στο μιγαδικό χώρο, τύπου

$$z_{n+1} = z_n^2 + c \quad c, z \in \mathbf{C}$$

Στο σύνολο Mandelbrot περιλαμβάνονται όλες οι συναρτήσεις μιγαδικών αριθμών z που παραμένουν πεπερασμένες. Οι παρατηρήσεις μέσω υπολογιστή δείχνουν ότι στο σύνορο του συνόλου του βρίσκεται ένα περίπλοκο φράκταλ με ένα πλήθος από αναδιπλώσεις και εσωτερικές συσπειρώσεις που παρουσιάζουν αυτο-ομοιότητα.

Το γεγονός ότι δεν μπόρεσε να διατυπωθεί νωρίτερα μια τέτοιου είδους γεωμετρία οφείλεται στις μέχρι τότε ανύπαρκτες υπολογιστικές ικανότητες[4].

Σημασία

Οι πιο ένθερμοι υποστηρικτές της καινούργιας θεωρίας δηλώνουν ότι η επιστήμη του 20ού αιώνα χαρακτηρίζεται από τρεις κύριες επαναστατικές επιτεύξεις: τη θεωρία της σχετικότητας, την κβαντική μηχανική και τη θεωρία του χάους.

Αν η θεωρία της σχετικότητας έδωσε τέλος στην νευτωνική αντίληψη ενός απεριόριστου χώρου και χρόνου, και η κβαντική θεωρία έδωσε τέλος στο νευτωνικό όνειρο μιας αντικειμενικής προσέγγισης στη φύση, η θεωρία του χάους δίνει μια για πάντα τέλος στην ουτοπία του Laplace περί αιτιοκρατικής προβλεπτικότητας.

Το τέλος της βεβαιότητας

Η θεωρία του χάους οδηγεί σε μια νέα, ολιστική αντίληψη της φύσης που περιλαμβάνει φαινόμενα που αγνοούνταν ή παραβλέπονταν από την κλασική προσέγγιση. Ο Prigogine το διατυπώνει αυτό ως εξής: "Η κλασική επιστήμη έδινε

έμφαση στην ισορροπία και στη σταθερότητα. Σήμερα η προσοχή μας στρέφεται στις διάφορες μεταβολές, στην εξέλιξη, στην αστάθεια. Ακριβέστερα, στην κλασική φυσική δινόταν η αίσθηση ότι ζούσαμε σ' ένα μέλλον αντιστρέψιμο. Ο ντετερμινισμός υποσχόταν ότι γνωρίζοντας τις αρχικές συνθήκες θα ήταν σε θέση να προβλέπει κάθε μελλοντική κατάσταση. Το Σύμπαν μας όμως δεν είναι έτσι"[5].

Το τέλος του αιτιοκρατισμού (ντετερμινισμού) είχε ήδη αναγγελθεί από τους επιστήμονες που πρωτοπόρησαν στη θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας. Πολλοί ήταν εκείνοι όμως που εξακολουθούσαν να πιστεύουν ότι, αν και δεν ίσχυε ο αιτιοκρατισμός στο επίπεδο μεμονωμένων ατόμων, στο σύνολό τους όμως, δηλαδή στα πλαίσια στατιστικών νόμων, αυτά συμπεριφέρονται αιτιοκρατικά. Με τη θεωρία του χάους, η πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός συστήματος παύει να έχει νόημα και συνεπώς δεν έχει νόημα και η έννοια του αιτιοκρατισμού. Ακόμα και στα πιο απλά συστήματα μπορεί να επικρατήσει το χάος. Αυτά θεωρούνται πολύ ευαίσθητα ως προς τις αρχικές τους συνθήκες και η συμπεριφορά τους δεν μπορεί να προβλεφθεί.

Μια για πάντα λοιπόν, το αιτιοκρατικό όνειρο του Laplace, ότι δηλαδή ο άνθρωπος θα ήταν σε θέση να προβλέψει συνθήκες στον κόσμο του μέλλοντος, έχει διαψευστεί.

Τα όρια της επιστήμης

Το τέλος του ονείρου της απεριόριστης πρόβλεψης του κόσμου δείχνει επίσης πως η επιστήμη, καθώς και η επιστημονική θεώρηση του κόσμου γενικά, φθάνει στα όριά της. Η θεωρία του χάους επισφραγίζει το γεγονός αυτό και επιπλέον ωθεί τον επιστήμονα να υιοθετήσει μια στάση "ταπεινοφροσύνης", επειδή διαπιστώνει πως με μια εξήγηση που δίνει η επιστήμη εμφανίζονται νέα αινίγματα που απαιτούν λύση. Όσο κι αν εισχωρήσει στη δομή της ύλης, διασπώντας την σε άτομα, "στοιχειώδη" σωματίδια κλπ., και ερευνώντας τις δυνάμεις που την συγκρατούν, εκείνη θα εμφανίζεται όλο πιο πολύπλοκη και μυστηριώδης.

Η θεωρία του χάους δίνει μια νέα ώθηση στην εξερεύνηση της πολυπλοκότητας και φαινομενολογικής ασάφειας που συναντάμε στη φύση. Και η έρευνά της καλεί σε κοινή προσπάθεια όλων των επιστημονικών κλάδων και στη συμμετοχή διαφόρων ειδικοτήτων. Βασικές μέθοδοι των μαθηματικών και της φυσικής βρίσκουν την εφαρμογή τους τόσο σε άλλους κλάδους, όσο και αμφίδρομα, ο τρόπος σκέψης που επικρατεί στους άλλους κλάδους εισχωρεί και επηρεάζει την έρευνα στον κλάδο των μαθηματικών και της φυσικής.

Η συνεργασία αυτή και η προσπάθεια από κοινού για τη λύση δια-κλαδικών προβλημάτων στην επιστήμη, θεωρούνται σήμερα επιτακτικές και η έλλειψή τους στο παρελθόν ήταν το αποτέλεσμα μιας αυθαίρετα απλουστευτικής αντίληψης των πραγμάτων.

Τα μειονεκτήματα μιας απλουστευτικής σκέψης

Είναι γεγονός ότι δεν μπορούμε να ερευνήσουμε το όλον μόνο με το να ερευνάμε τα μέρη που το αποτελούν. Καθώς οι επιστήμονες ανακαλύπτουν την πολυπλοκότητα που επικρατεί ακόμα και στα πιο απλά συστήματα στη φύση και την αβεβαιότητα πρόβλεψης της συμπεριφοράς τους, αρχίζουν να συνειδητοποιούν το γεγονός ότι όλο το φάσμα της φυσικής πραγματικότητας δεν μπορεί να εξηγηθεί μόνο με τις αλληλεπιδράσεις μορίων, ατόμων ή και στοιχειωδών σωματιδίων. Όπως είναι εξίσου δύσκολο να κατανοηθεί ο βιολογικός κόσμος με βάση μόνο τη φυσική και τη χημεία.

Τι λοιπόν; Εφ' όσον δεν μπορούμε να εξηγήσουμε τη φύση στο σύνολό της μέσω της επιστήμης, δεν θα ήταν σοφό να προβλέπαμε την πιθανότητα του ανεξήγητου, δηλαδή τη δράση του Θεού στη φύση; Τέτοια σκέψη όμως, όσο δικαιολογημένη και να μας φαίνεται, οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα, ότι δηλαδή ο Θεός είναι ένας θεός που υπάρχει μόνο εκεί που η σκέψη μας δεν μπορεί να εισχωρήσει ή που δεν βρίσκει άλλη δυνατότητα εξήγησης, θεός του κενού δηλαδή. Η Αγία Γραφή διδάσκει πως όσο ο Θεός υπερβαίνει τη φύση που δημιούργησε, τόσο ταυτίζεται μ' αυτήν, τόσο και συνυπάρχει μαζί της. Η θεία υπεροχή φανερώνεται ιδιαίτερα σε στιγμές που ο άνθρωπος, το δημιούργημά του, τον αρνείται, τον απομακρύνει από τη σκέψη του και κατόπιν μόνος του αναγνωρίζει την αδυναμία του και την ανικανότητά του απέναντι στο μεγαλείο που συναντάει στη φύση.

Πνευματικά διδάγματα

Η πείρα μας διδάσκει πως η ζωή δεν κυλάει πάντοτε αρμονικά. Μερικοί προσπαθούν να ζήσουν τη ζωή τους όσο πιο ομαλά γίνεται. Δεν επιτρέπουν στη ζωή τους να εξελιχτεί, είτε επειδή είναι μεμψίμοιροι και δεν θέλουν να ζήσουν τη ζωή τους με όλες τις δυνατότητες που τους προσφέρονται, είτε επειδή φοβούνται το ρίσκο, είτε επειδή βλέπουν τη ζωή μονόπλευρα χάνοντας έτσι τις υπόλοιπες διαστάσεις της. Επιλέγουν για παράδειγμα τον ασκητισμό χάρη πνευματικών ιδανικών ή ζουν τα πάθη τους και στις απολαύσεις της ζωής για χάρη ηδονιστικών

σκοπών, παραβλέποντας έτσι τις ψυχικές τους ανάγκες. Η ζωή γι' αυτούς μπορεί να κυλάει κανονικά, χωρίς πολλά απρόοπτα και χωρίς πολλές διαταράξεις.

Άλλοι προσπαθούν να εκμεταλλευτούν τις ευκαιρίες που τους παρέχει η ζωή στο ακέραιο. Γι' αυτούς ίσως η ζωή να κυλάει με διακυμάνσεις, και πολλές φορές με χαώδη τρόπο.

Ο Ιησούς υπεράνω των χαοτικών καταστάσεων

Σε όποια κατηγορία ανθρώπων και να ανήκουμε, ποιος μπορεί να μας εγγυηθεί ότι στη ζωή μας δεν θα πειραματισθούμε και στιγμές χάους; Το ερώτημα που προκύπτει είναι: Είναι άραγε η ζωή μας σε θέση να αντέξει στο χάος; Υπάρχει μια όμορφη περιγραφή στα Ευαγγέλια, όπου οι μαθητές κι ο Χριστός μπαίνουν σε μια βάρκα για να πάνε στην άλλη όχθη της λίμνης. Στη μέση του δρόμου συναντάνε κακοκαιρία και τα φουρτουνιασμένα νερά απειλούν να βουλιάξουν τη βάρκα. Αλλά ο Ιησούς κοιμάται. Στην απελπισία τους οι μαθητές τον ξυπνούν και του ζητούν βοήθεια. Εκείνος, στην παντοδυναμία του, αμέσως ησυχάζει τα νερά.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι εκείνος τους αποκαλεί ολιγόπιστους, γιατί; Δεν τους ονομάζει ολιγόπιστους επειδή τον κάλεσαν να βοηθήσει αλλά επειδή δεν πίστεψαν ότι εφ' όσον εκείνος βρίσκεται μαζί τους στη βάρκα, η πορεία τους - έστω και κάτω από σε συνθήκες χάους - θα είναι ασφαλής.

Οδυνηρές απλοποιήσεις

Είδαμε πιο πάνω πως είναι σοβαρό σφάλμα να ακολουθούμε μια απλουστευτική στάση, είτε με το να υπερ-απλοποιούμε και να γενικεύουμε ανεπίτρεπτα τα πράγματα, είτε με το να μη λαβαίνουμε υπόψη ότι πολλές έννοιες δεν είναι ανεξάρτητες αλλά αλληλοσυνδέονται και υπόκεινται σε αλληλεπιδράσεις. Τι μπορεί να είναι τέτοιου είδους απλοποιήσεις; Π.χ. ότι ο άνθρωπος είναι απλώς ένα όν υλικό/βιολογικό κι ότι αρκεί να έχει όλα τα υλικά είδη που επιθυμεί, χωρίς να δίνει σημασία πώς τρέφεται η ψυχή του. Έναν τρόπο υπερ-απλοποίησης τον συναντάμε συχνά στον θεολογικό τομέα. Η υπέρ-απλουστευμένη θεολογία οδηγεί σε απλοϊκή πίστη. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι κανόνες και εντολές που προτιμούνται από την αγάπη και τον σεβασμό προς τον άλλο.

Βιβλιογραφία

- [1] Edward N. Lorenz, Deterministic nonperiodic flow, *Journal of the Atmospheric Sciences* 20 (1963) 130-141
- [2] Robert M. May, Simple mathematical models with very complicated dynamics, *Nature* 261 (1976) 459-467
- [3] Ilya Prigogine, Isabelle Stengers, *The end of certainty: time, chaos and the new laws of nature*, Free Press, New York, 1997
- [4] James Gleick, *Chaos. The making of a new science*, Sphere, London 1988
- [5] Ραντεβού μ' ένα Νομπέλ. Ο Ιλιά Πριγκοζίν και το χάος. *Το Βήμα*, 8.12.1996, σελ. 4