

# Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΧΑΟΥΣ ΚΑΙ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΕΤΑΛΟΥΔΑΣ

## **Τι είναι το χάος και η θεωρία του χάους**

Στον αιώνα που μας αποχαιρέτησε τρεις ήταν οι μεγάλες επιστημονικές επαναστάσεις: η σχετικότητα, η κβαντική μηχανική και η θεωρία του Χάους. Η πρώτη βρήκε τη σχέση του χώρου και του χρόνου, η δεύτερη την αρχή της αιτιότητας και η τρίτη διερευνά την έννοια της προβλεπτικότητας, πως από παρόμοιες αρχικές υποθέσεις μπορούν να προκύψουν πολύ διαφορετικά συμπεράσματα.

Η λέξη Χάος χρησιμοποιείται με διαφορετικό τρόπο, σε διαφορετικές περιπτώσεις, από διαφορετικούς ανθρώπους. Άλλη η έννοια του χάους στην θρησκεία ή στην αρχαία ελληνική φιλοσοφία ή στην σημερινή εποχή μας (χάος = διάλυση, σύγχυση, μπάχαλο, αταξία κλπ) ή ακόμη και στην αναπαράσταση του με διάφορα σύνολα τύπου Mandelbrot και άλλη η έννοια του χάους στην επιστήμη.

Στην επιστήμη το χάος ορίζεται σαν την εξαιρετικά ευαίσθητη εξάρτηση της κίνησης από τις αρχικές συνθήκες. Η απρόσμενη μεταβολή στις αρχικές συνθήκες είναι το στοιχείο του χάους - της αταξίας- που εκδηλώνεται σε μια τακτική και σταθερή φυσική διαδικασία. Δηλαδή αναλυτικότερα, χάος είναι η χαοτική κατάσταση που προκύπτει όταν μεταβληθούν έστω και κατ' ελάχιστο τα αρχικά δεδομένα ενός δυναμικού συστήματος. Αλλά στη νέα θέση που θα οδηγηθεί το σύστημα από έναν "ελκυστή", θα κατακαθίσει και θα παγωθεί σε μια θέση που όμως πάλι η προβλεψιμότητα της θα είναι αδύνατον να εκφραστεί με νόμους αιώνιους ή ντερμινιστικά.

Έτσι όμως η λέξη χάος εκφράζει κάτι κοινό για όλους: Την αστάθεια και την αταξία. Τα παραδείγματα από την καθημερινή ζωή είναι πολλά. Ο καπνός

του τσιγάρου που στροβιλίζεται σε πολύπλοκες και απρόβλεπτες δίνες. Η ροή του νερού που στάζει από μια βρύση. Το νερό των κυμάτων που σκάζουν πάνω σε μια ακτή. Το μελάνι που διαχέεται μέσα σε ένα ποτήρι νερού με απρόβλεπτο τρόπο. Στην αστρονομία μπορεί να έχουμε μια τυχαία μεταβολή κάποιας ιδιότητας (κλίση τροχιάς, εκκεντρότητα τροχιάς κάποιου πλανήτη κλπ). Στη βιολογία, στην κοινωνιολογία, στην οικονομία και τέλος στην ιατρική έχουμε παρόμοιες εκδηλώσεις χαοτικής συμπεριφοράς. Αλλά τα παραδείγματα δεν τελειώνουν εδώ. Το απρόβλεπτο των τιμών στο χρηματιστήριο, στα ηλεκτρικά κυκλώματα, στους χτύπους της καρδιάς, στην ροή του νερού ή του αίματος μέσα στους σωλήνες, στην μεταβολή των πληθυσμών στα πουλιά και στα φυτά είναι ορισμένοι τομείς στους οποίους συνυπάρχει το χάος.

Στην δεκαετία του 1970 οι επιστήμονες άρχισαν να προσεγγίζουν την έννοια της αταξίας. Οι μαθηματικοί, φυσικοί, φυσιολόγοι, βιολόγοι και χημικοί αναζητούσαν συνδέσεις ανάμεσα σε διαφορετικά είδη μη κανονικότητας. Μετά τις πρώτες εκπλήξεις από την χαώδη συμπεριφορά πολλών μοντέλων οι μαθηματικοί του χάους ζήτησαν να καταλάβουν τις χαοτικές κινήσεις της καθημερινής ζωής. Τις αλλαγές του καιρού. Τις διακυμάνσεις στους πληθυσμούς των αγρίων ζώων. Την εξέλιξη των τιμών στο χρηματιστήριο. Αναπαριστούν τα ανεξέλεγκτα αυτά φαινόμενα με μη γραμμικές εξισώσεις σε  $H/Y$ . Κι ανακαλύπτουν την κρυφή τάξη που τα ορίζει. Έτσι οι φυσιολόγοι βρήκαν μια εκπληκτική τάξη στο χάος που αναπτύσσεται στην ανθρώπινη καρδιά, την κύρια αιτία του απρόσμενου θανάτου. Οι οικολόγοι ερεύνησαν την εμφάνιση και εξαφάνιση νομαδικών πληθυσμών εντόμων. Οι οικονομολόγοι εξέταζαν τις τιμές κάποιων προϊόντων. Οι μετεωρολόγοι εξέταζαν το σχήμα των νεφών, τις διαδρομές των αστραπών στον αέρα. Και οι αστροφυσικοί πως ομαδοποιούνται τα άστρα σε γαλαξίες. Στην αστρονομία η συνειδητοποίηση της ύπαρξης του χάους στο Ηλιακό σύστημα, παρόλο που το θεωρούσαμε ένα δυναμικό σταθερό σύστημα-- προκαλεί ερωτήματα του κατά πόσο έπαιξε ρόλο το χάος στο σχηματισμό του Ηλιακού συστήματος.

Έτσι γρήγορα οι επιστήμονες άρχισαν να μελετούν το χάος στην εφαρμοσμένη επιστήμη από την θεωρητική που μέχρι τότε έκαναν. Μπορεί όμως το χάος να χαρακτηρίζει τα μετεωρολογικά φαινόμενα, τα κοινωνικά, τα πολιτικά και τα βιολογικά δυναμικά συστήματα, αλλά από φιλοσοφικής πλευράς ζούμε σε μια όαση τάξης μέσα σ' ένα ωκεανό χάους: Από τη μια το χάος της απροσδιοριστίας στο μικρόκοσμο και από την άλλη η χαοτική δυναμική του μακρόκοσμου, με τους πλανήτες να κινούνται σε απρόβλεπτες τροχιές. Αίφνης η κίνηση των κυμάτων που σκάνε σε μια ακτή. Η κίνηση αυτή δημιουργεί ένα άγριο κουβάρι από τροχιές και περιδινήσεις, που περιέργως όμως δεν είναι εντελώς άτακτες. Καταλήγουν να 'χουν μια μορφή, μια υποτυπώδη γεωμετρική μορφή που οι μαθηματικοί του χάους ονομάζουν παράξενος ελκυστής (strange attractor). Ένα άλλο παράδειγμα είναι το παιχνίδι φλιπεράκι, όπου οι κινήσεις της μπάλας προσδιορίζονται ακριβώς από τους νόμους της κύλισης υπό την επίδραση της βαρύτητας και της ελαστικής κρούσης -και οι δύο πλήρως κατανοητοί-, αλλά το τελικό αποτέλεσμα είναι μη προβλέψιμο. Μέχρι τα τέλη του προ-περασμένου αιώνα, η εύρεση της τροχιάς κάθε ουράνιου σώματος γινόταν προσεγγιστικά, με τη βοήθεια των νόμων του Νεύτωνα και Κέπλερ, αφού δεν υπήρχαν Η/Υ για περισσότερη ακρίβεια. Οι κινήσεις των πλανητών και των άλλων ουρανίων σωμάτων θεωρούνταν περιοδικές και κανονικές σαν τη κίνηση ενός τέλει εκκρεμούς.

Στα τέλη όμως του 19ου αιώνα, ο Γάλλος μαθηματικός και αστρονόμος Henri Poincaré (1854 - 1912), έκανε μια ανακάλυψη που έμελλε να αλλάξει τα θεμέλια της Νευτώνιας μηχανικής, και να αποτελέσει έτσι τη γέννηση ενός νέου κλάδου της επιστήμης: του Χάους. Συγκεκριμένα ο Poincaré διαπίστωσε πως το πρόβλημα των τριών σωμάτων (μελέτησε το πρόβλημα του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης) ήταν και παραμένει άλυτο. Άρα, δεν μπορεί να προβλεφθεί η τροχιά οποιουδήποτε ουράνιου σώματος που δέχεται την επίδραση δύο ή περισσότερων άλλων σωμάτων. Η προσπάθεια λοιπόν να υπολογιστεί η τροχιά πχ του Πλούτωνα, δεν είναι δυνατή, αφού δέχεται την επίδραση του Ήλιου και άλλων οκτώ πλανητών.

Ο Poincare αποκάλυψε το χάος στο Ηλιακό σύστημα και μαζί ανακάλυψε την απρόβλεπτη εξέλιξη ενός μη γραμμικού συστήματος. Είχε κατανοήσει πως πολύ μικρές επιδράσεις μπορούν να μεγεθυνθούν μέσω της ανάδρασης. Γι' αυτό και διατύπωσε την άποψη *"Μια ελάχιστη αιτία που διαφεύγει της προσοχής μπορεί να προκαλέσει ένα σημαντικό αποτέλεσμα"*. Η γέννηση του χάους και του απρόβλεπτου ήταν γεγονός. Αλλά χρειάστηκε να περάσουν 80 χρόνια από τότε για να συνειδητοποιήσουν οι αστρονόμοι και οι υπόλοιποι επιστήμονες τη σπουδαιότητα αυτής της ανακάλυψης.

## Χαοτική κίνηση

Δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτός ορισμός της χαοτικής κίνησης. Ο πιο διαδεδομένος είναι αυτός του Devaney, που διατυπώνεται ως εξής:

*Για να χαρακτηριστεί η συμπεριφορά ενός συστήματος ως χαοτική, το σύστημα πρέπει να παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες:*

- 1.πρέπει να παρουσιάζει ευαίσθητη εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες*
- 2. πρέπει να είναι τοπολογικά μεταβατικό*
- 3. το σύνολο των περιοδικών του τροχιών πρέπει να είναι πυκνό*

Ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες σημαίνει ότι δύο σημεία σε ένα τέτοιο σύστημα μπορούν να ακολουθήσουν ριζικά διαφορετικές τροχιές στον φασικό χώρο, ακόμα και αν η διαφορά στις αρχικές συνθήκες είναι εξαιρετικά μικρή. Τα συστήματα συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο μόνο όταν η αρχική διαμόρφωση είναι ακριβώς η ίδια. Ουσιαστικά, αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται κανείς να προσδιορίσει τις αρχικές συνθήκες με απεριόριστη ακρίβεια, προκειμένου να προβλέψει πώς θα συμπεριφερθεί το σύστημα πέρα από έναν περιορισμένο "χρονικό ορίζοντα". Στην πράξη, βέβαια, μπορούμε να προσδιορίσουμε τις αρχικές συνθήκες με περιορισμένη μόνο ακρίβεια. Μεταβατικότητα σημαίνει ότι εάν

επιφέρουμε μια μετατροπή σε κάποιο διάστημα I1, τότε το διάστημα εκτείνεται μέχρι να επικαλύψει οποιοδήποτε άλλο δεδομένο διάστημα I2. Η μεταβατικότητα, τα πυκνά περιοδικά σημεία και η ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες μπορούν να επεκταθούν σε έναν αυθαίρετο μετρικό χώρο. Ο J. Banks και οι συνεργάτες του έδειξαν το 1992 ότι στα πλαίσια ενός γενικού μετρικού χώρου, η μεταβατικότητα και τα πυκνά περιοδικά σημεία υπονοούν την ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες.

## **Ελκυστές**

Ένας τρόπος να παρουσιάσουμε οπτικά την χαοτική κίνηση ή οποιαδήποτε άλλη κίνηση, είναι η κατασκευή ενός διαγράμματος φάσης της κίνησης. Σε ένα τέτοιο διάγραμμα υπεισέρχεται σιωπηρά ο χρόνος και σε κάθε άξονα αναπαρίσταται μια μεταβλητή της κατάστασης. Για παράδειγμα, θα μπορούσε κάποιος να αναπαραστήσει την θέση ενός εκκρεμούς σε σχέση με την ταχύτητά του. Ένα εκκρεμές σε ακινησία θα σχεδιαστεί ως ένα σημείο και ένα σε περιοδική κίνηση θα σχεδιαστεί ως απλή κλειστή καμπύλη. Όταν ένα τέτοιο σχέδιο σχηματίζει κλειστή καμπύλη, η καμπύλη λέγεται τροχιά. Το εκκρεμές μπορεί να παρουσιάσει άπειρες τέτοιες τροχιές. Συχνά τα διαγράμματα φάσης αποκαλύπτουν ότι η πλειοψηφία των τροχιών καταλήγουν να πλησιάζουν ένα κοινό όριο. Το σύστημα τελικά εκτελεί την ίδια κίνηση για όλες τις αρχικές καταστάσεις σε μια περιοχή γύρω από την κίνηση, σχεδόν σαν να έλκεται το σύστημα σε αυτή την κίνηση. Μια τέτοια ελκυστική κίνηση καλείται ελκυστής του συστήματος.

## **Ο Λόρεντζ και το φαινόμενο της πεταλούδας**

Ο Λόρεντζ ενδιαφερόταν ιδιαίτερα για τον καιρό. Νεαρός ακόμη, στο δυτικό Χάρτφορντ του Κονέκτικατ, κρατούσε ημερολόγιο στο οποίο κατέγραφε τις καιρικές μεταβολές και τα μέγιστα και τα ελάχιστα της

θερμοκρασίας. Παράλληλα τον συνάρπαζαν τα αινίγματα και τα μαθηματικά. Τα μαθηματικά αινίγματα ήταν γι' αυτόν πρόκληση. Του άρεσε να ασχολείται με αυτά και αφιέρωνε πολύ χρόνο, με αποτέλεσμα να αποκτήσει εξαιρετικές ικανότητες, αποφάσισε λοιπόν να γίνει μαθηματικός. Αλλά πριν ακόμη καταφέρει να κάνει το όνειρό του πραγματικότητα, ξέσπασε ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος και ο Λόρεντζ κλήθηκε να υπηρετήσει στο στρατό. Στην Αεροπορία όπου τοποθετήθηκε, μπορεί να μη χρειάζονταν μαθηματικοί, υπήρχε όμως ανάγκη για μετεωρολόγους και έτσι ο Λόρεντζ άρχισε να ασχολείται με προβλήματα που σχετίζονταν με τον καιρό. Σύντομα διαπίστωσε ότι ο καιρός είναι ένα αίνιγμα όπως πολλά από τα μαθηματικά αινίγματα που είχε επεξεργαστεί, και μέσα σε λίγο διάστημα άρχισε να ενδιαφέρεται αποκλειστικά γι' αυτόν. Έτσι όταν απολύθηκε, γράφτηκε στο Κολέγιο Ντάρτμουθ (Dartmouth College) απ' όπου πήρε πτυχίο στη μετεωρολογία.

Ωστόσο, βαθιά μέσα του παρέμενε μαθηματικός και λίγα χρόνια αργότερα, όταν βρισκόταν στο Μ.Ι.Τ. διέβλεψε μία ευκαιρία σύνδεσης των μαθηματικών με τη μετεωρολογία. Η πρόγνωση του καιρού αποτελούσε πρόβλημα: οι μετεωρολόγοι ήταν μεν σε θέση να κάνουν προβλέψεις για λίγες μόνο μέρες, αλλά δεν υπήρχε ελπίδα για μία μακροπρόθεσμη πρόγνωση. Υπήρχε κάποια αιτία γι' αυτό; Γιατί άραγε ήταν τόσο αδύνατη η πρόγνωση του καιρού; Ο μόνος τρόπος να δοθεί κάποια απάντηση ήταν να κατασκευαστεί ένα μαθηματικό μοντέλο του καιρού με εξισώσεις που θα αναπαριστούσαν μεταβολές στην θερμοκρασία, την πίεση, την ταχύτητα του ανέμου κ.ο.κ. Η πολυπλοκότητα όμως του καιρού έκανε ένα τέτοιο μοντέλο αδύνατο. Τελικά, ο Λόρεντζ επινόησε 12 εξισώσεις που περιείχαν μεγέθη όπως πίεση και θερμοκρασία και ήταν σε θέση να καταστρώσει ένα πρώτο, αδρό μοντέλο. Αλλά ακόμη και έτσι, οι απαραίτητοι υπολογισμοί ήταν πολύπλοκοι.

Εκείνη την εποχή είχαν κάνει την εμφάνισή τους οι πρώτοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Στα 1960, οι υπολογιστές ήταν ακόμη άκομψα περιεργα μηχανήματα όπου αποτελούνταν από εκατοντάδες λυχνίες κενού που υπερθερμαίνονταν εύκολα, με αποτέλεσμα οι βλάβες να είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Όταν όμως λειτουργούσαν ήταν πραγματικό

θαύμα: εκτελούσαν εκατοντάδες υπολογισμούς το λεπτό. Ο υπολογιστής του Λόρεντζ ήταν ένας Royal McBee. Αν και αργός και χοντροκομμένος, ήταν γι' αυτόν αναντικατάστατος. Ο Λόρεντζ παρακολουθούσε ανυπόμονα τη μηχανή να παράγει συνεχώς αριθμούς που αναπαριστούσαν διάφορα χαρακτηριστικά του καιρού. Επρόκειτο για μία περίπλοκη μηχανή, που δημιουργούσε καιρικές συνθήκες μέρα με τη μέρα, συνθήκες που μεταβάλλονταν και που δεν φαίνεται ποτέ να επαναλαμβάνονταν.

Αλλά ο Λόρεντζ δεν ήταν ικανοποιημένος: δεν μάθαινε για την μακροπρόθεσμη πρόγνωση του καιρού όσα είχε ελπίσει, και έτσι απλοποίησε το σύνολο των εξισώσεών του, επικεντρώνοντας στα φαινόμενα μεταφοράς και στα μεταφορικά ρεύματα-ένα από τα χαρακτηριστικά του καιρού. Μεταφορικά ρεύματα υπάρχουν παντού γύρω μας. Ο θερμός αέρας ανεβαίνει, ενώ ο ψυχρός κατεβαίνει αυτό συμβαίνει κάθε μέρα στην ατμόσφαιρα και το αποτέλεσμα είναι η βροχή, το χιόνι ο άνεμος και άλλα. Κατά τον Λόρεντζ τα μεταφορικά ρεύματα ήταν κυκλικά. Ψυχρός αέρας κατέβαινε από την κορυφή της ατμόσφαιρας προς ένα σημείο του κύκλου, ενώ ο θερμός ανέβαινε από περιοχές κοντά στην επιφάνεια της Γης προς την άλλη πλευρά του κύκλου. Ο Λόρεντζ κατέληξε σε τρεις, φαινομενικά απλές, εξισώσεις που αναπαριστούσαν το φαινόμενο της μεταφοράς. Ο Λόρεντζ τις έβαλε στον υπολογιστή και έλαβε πάλι ένα πλήθος από αριθμούς που αναπαριστούσαν κάποια χαρακτηριστικά του καιρού. Έθεσε κατόπιν τα σημεία αυτά σε μία γραφική παράσταση και έτσι προέκυψε μία συνεχής γραμμή. Ο Λόρεντζ ήθελε να διαπιστώσει κατά πόσο μια μακροπρόθεσμη πρόγνωση ήταν δυνατή.

Εκείνη την εποχή μόλις είχαν αρχίσει να κατασκευάζονται γρήγοροι υπολογιστές με μεγάλη μνήμη και λίγα χρόνια νωρίτερα είχαν τεθεί σε τροχιά οι πρώτοι δορυφόροι. Μια νέα εποχή φαινόταν να ανατέλλει. Υπήρχε η δυνατότητα παγκόσμιας πρόγνωσης του καιρού, και με τη βοήθεια αρκετά μεγάλων υπολογιστών αναμενόταν πρόγνωση για διάστημα αρκετών μηνών, πράγμα που ήταν όνειρο πολλών ανθρώπων. Υπήρχε κάποιο εμπόδιο; Ο Λόρεντζ ήταν σίγουρος ότι το μοντέλο του θα έδινε κάποια απάντηση σε αυτό το ερώτημα και θα βοηθούσε στη διευκρίνιση των προβλημάτων που ίσως ανέκυπταν, δεν μπορούσε όμως

να φανταστεί πόσο σημαντικό θα αποδεικνυόταν. Κάθε μέρα εξέταζε τα σχήματα που κατασκεύαζε ο υπολογιστής του και που έμοιαζαν να είναι τυχαία. Παρατηρώντας ένα από αυτά μια μέρα του 1961, αποφάσισε να το επαναλάβει. Εισήγαγε τα αριθμητικά αποτελέσματα στον υπολογιστή ως αρχικές συνθήκες, περιμένοντας ότι το αποτέλεσμα θα ήταν το ίδιο. Πράγματι, αρχικά (για λίγες μέρες) τα αποτελέσματα ήταν αρκετά όμοια, σύντομα όμως άρχισαν να αποκλίνουν και προς μεγάλη του έκπληξη μετά από λίγο οι δύο γραμμές απείχαν τόσο η μία από την άλλη, που δεν υπήρχε μεταξύ τους καμία ομοιότητα. Το αρχικό αποτέλεσμα όχι απλώς δεν είχε αναπαραχθεί, αλλά ούτε καν έμοιαζε με το καινούριο. Ο Λόρεντζ επανέλαβε την προσπάθεια χωρίς επιτυχία. Ίσως υπήρχε κάποιο μικρό λάθος στα αρχικά δεδομένα, σκέφτηκε, ίσως τα δεδομένα που είχαν εισαγάγει να ήταν ελαφρώς διαφορετικά από τα αρχικά. Όμως ακόμη και έτσι από την εποχή του Νεύτωνα ήταν γνωστό ότι τα μικρά σφάλματα είχαν μικρές επιπτώσεις. Στην περίπτωση αυτή, οι επιπτώσεις ήταν τεράστιες. Ουσιαστικά σε σύντομο χρονικό διάστημα, δεν υπήρχε η παραμικρή ομοιότητα με το αρχικό αποτέλεσμα. Ο Λόρεντζ αναρωτήθηκε πώς ήταν δυνατό να έχει προκύψει το σφάλμα. Συνειδητοποίησε λοιπόν ότι ενώ ο υπολογιστής εκτελούσε πράξεις χρησιμοποιώντας έξι σημαντικά ψηφία τύπωνε μόνο τα τρία (λ.χ., στον αριθμό 0,785432 τύπωνε 0,785). Ο Λόρεντζ έβαλε πάλι στον υπολογιστή τα τρία ψηφία εισάγοντας ένα σφάλμα λίγων χιλιοστών. Όμως, πώς ένα τόσο μικρό σφάλμα μπορούσε να έχει τέτοιες συνταρακτικές επιπτώσεις; Ο Λόρεντζ γνώριζε ότι βρισκόταν κοντά σε κάτι πολύ σημαντικό.

Η συνολική εικόνα που είχε επίσης πάρει στο χώρο των φάσεων ήταν μια έκπληξη: έμοιαζε με τα φτερά μιας πεταλούδας. Αφού σχεδίασε αρκετές χιλιάδες σημεία, προέκυψαν δύο λοβοί που έμοιαζαν με το αριστερό φτερό της πεταλούδας, και πέντε που έμοιαζαν με το δεξί. Σήμερα, η εικόνα αυτή είναι γνώστη ως το φαινόμενο της πεταλούδας. Ήταν εύκολο να διαπιστωθεί ότι ένα σημείο στο χώρο των φάσεων που κινιόταν γύρω από τους λοβούς δεν θα επαναλάμβανε ποτέ την κίνησή του: θα περιφερόταν ίσως γύρω από τον αριστερό λοβό και στη συνέχεια θα διέγραφε δύο φορές μια τροχιά γύρω από το δεξιό πριν επιστρέψει στον

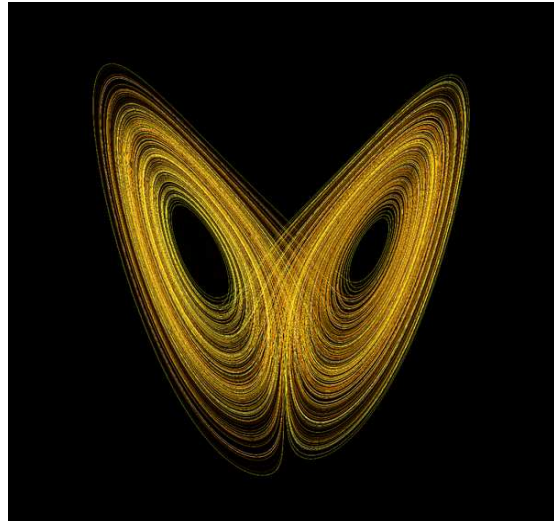


αριστερό. Ήταν αδύνατο όμως να προβλεφθεί σε ποια θέση το σημείο θα άρχιζε να διαγράφει τροχιά γύρω από το λοβό και ποιος λοβός θα ήταν αυτός. Η κίνησή του ήταν τυχαία ή χαοτική.

Μερικές φορές, το φαινόμενο της πεταλούδας παρερμηνεύεται στην κοινή αντίληψη. Για παράδειγμα, η ιδέα ότι κάτι τόσο ασήμαντο όσο μια πεταλούδα μπορεί να "προκαλέσει" έναν τυφώνα (ή να τον αποτρέψει) έχει θεωρηθεί από κάποιους ως επιχείρημα υπέρ της άποψης ότι ένα "ασήμαντο" άτομο, μια "περιθωριακή" ιδέα ή ένα φαινομενικά άσχετο γεγονός μπορούν να παίξουν έναν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της Ιστορίας. Ωστόσο, η ουσία της συμπεριφοράς ενός χαοτικού συστήματος είναι ότι, στην πράξη, είναι απρόβλεπτη σε "βάθος χρόνου". Συνεπώς, ενώ πράγματι ένα ασήμαντο γεγονός μπορεί να αλλάξει άρδην την πορεία της ιστορίας, δεν είμαστε σε θέση να ξέρουμε ποια θα ήταν η εξέλιξη του συστήματος χωρίς το γεγονός και άρα, δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε τις ενέργειές μας ώστε να πετύχουμε ένα επιθυμητό σημαντικό αποτέλεσμα σε βάθος χρόνου - μπορούμε να προγραμματίζουμε αποτελεσματικά μόνο μέχρι τον χρονικό ορίζοντα που χαρακτηρίζει το σύστημα. Η γνώση ότι ένα ασήμαντο γεγονός οδήγησε σε κάτι "μεγάλο" μπορεί, μερικές φορές, να αποκτηθεί εκ των υστέρων, αν και συνήθως ακόμη κι αυτό είναι αδύνατον. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η πεταλούδα δεν θα μπορούσε να "προκαλέσει" από μόνη της τον τυφώνα, παρά μόνο χάρη στις ατμοσφαιρικές συνθήκες που συνυπήρχαν με την επέμβασή της. Η άμεση αιτία ενός τυφώνα είναι αναγκαστικά "μεγάλη", κάτι που κάνει την βραχυπρόθεσμη μετεωρολογική πρόβλεψη δυνατή. Αν η πεταλούδα κινήσει τα φτερά της την "λάθος" στιγμή, είναι εξίσου πιθανό να αποτρέψει έναν τυφώνα που αλλιώς θα συνέβαινε (ή να οδηγήσει σε κάτι τελείως διαφορετικό). Για να "προκαλέσει" έναν τυφώνα, πρέπει να δράσει σε μια ακριβώς υπολογισμένη στιγμή - κάτι που ακριβώς είναι αδύνατον να προβλεφθεί.



Έντουαρντ Λόρεντζ



Ο ελκυστής του Λόρεντζ (διάγραμμα πεταλούδας)

### Πηγές:

[el.wikipedia.org/wiki/θεωρία\\_του\\_χάους](http://el.wikipedia.org/wiki/θεωρία_του_χάους)

[www.physics4ugr/chaos/chaos3.html](http://www.physics4ugr/chaos/chaos3.html)

[www.entercity.gr/countent/view/2579/224/](http://www.entercity.gr/countent/view/2579/224/)

ISBN 960-7990-04-8 Εκδοτικός οίκος Π. ΤΡΑΥΛΟΣ. Συγγραφέας BARRY PARKER. Τίτλος Χάος και αστρονομία.

Αθανασία Πορταρίτη

Μαρία Παντελή

Ιστιαία 2011