

## Βιολογία, επιστήμες της πολυπλοκότητας και διαλεκτική\*

### 1. Οι νέες προκλήσεις της βιολογίας: προοπτικές και επιστημολογικά εμπόδια

Όλα τα επίσημα ερευνητικά προγράμματα στις επιστήμες των έμβιων όντων, τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο, εστιάζονται στα θέματα της μετα-γενομικής. Πρόκειται για έρευνες που συγκεντρώνουν και εφαρμόζουν σημαντικά δεδομένα χάρη στην εφαρμογή των σύγχρονων τεχνικών που χρησιμοποιούν: τις αλληλουχίες των γονιδίων, την ανάλυση των προϊόντων των γονιδίων, τα αγγελιοφόρα RNA και τις πρωτεΐνες. Παρά τις κριτικές που έχω διατυπώσει για την εν λόγω επιστημονική πολιτική, ωστόσο ξεκινώ με αυτή τη διαπίστωση, διότι είναι γεγονός ότι είναι ιδιαίτερος εντυπωσιακή για να σκιαγραφήσω τη δική μου άποψη<sup>1</sup>.

Ένας τρόπος για να ταξινομήσουμε αυτή την τεράστια ποσότητα των δεδομένων είναι η κατασκευή χαρτών για τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα γονίδια. Οι χάρτες αυτοί, που αποκαλούνται δίκτυα γονιδιακής ρύθμισης, αποτελούν γραφικές παραστάσεις αλληλεπιδράσεων, όπου κάθε γονίδιο που κωδικοποιεί μία ρυθμιστική πρωτεΐνη (η οποία εννοεί ή εμποδίζει την έκφραση, δηλαδή τη λειτουργία των άλλων γονιδίων), συνδέεται με όλα τα γονίδια που αυτή η πρωτεΐνη ρυθμίζει μέσα από τόξα που προσανατολίζονται με θετικό ή αρνητικό σύμβολο αναλόγως της φύσης της αλληλεπιδράσης. Οι χάρτες αυτοί θεωρούνται τα κλειδιά για τη λειτουργία του συστήματος και μοιάζουν με τα διάφορα μέρη μιας μηχανής και των σχέσεων μεταξύ τους, που εξασφαλίζουν τον τρόπο της λειτουργίας της.

Εντούτοις, οι σχέσεις ανάμεσα στις πρωτεΐνες και τα γονίδια είναι κυρτοειδούς μορφής, δηλαδή δεν είναι γραμμικές, και συνεπώς τα εν λόγω δίκτυα είναι γραφικές αναπαραστάσεις συστημάτων, που θα τα αποκαλούσαμε δυναμικά μη γραμμικά συστήματα. Η μελέτη παρόμοιων συστημάτων έχει ξεκινήσει εδώ και κάποιες δεκαετίες, κυρίως στον χώρο της φυσικής, λόγω του ότι τα ισοτιπία του χώρου αυτού έχουν σφραγίσει στη μελέτη της μη γραμμικής φυσικής, συνιστώντας έτσι τους κίονες της περιοχής αυτής που εδώ και λίγο καιρό την αποκαλούμε επιστήμη της πολυπλοκότητας. Τα εν λόγω συστήματα παρουσιάζουν άγνωστες ακόμη ιδιότητες, οι οποίες απαιτούν ειδικές μελέτες, που μόνον οι επιδόσεις των υπολογιστών μπορούν να καταστήσουν φανερές. Θα μπορούσαμε συνεπώς να

<sup>1</sup> Η Janine Guespin-Michel είναι καθηγήτρια στο Πανεπιστήμιο της Ρουέν.

\* Εισήγηση στο συνέδριο *Η διαλεκτική σήμερα*, Παρίσι, 30 Σεπτεμβρίου 2005.

σχεφτούμε ότι αυτές οι δυναμικές μελέτες διεξάγονται ενεργά μέσα στο πλαίσιο των μεταγενομικών προγραμμάτων.

Αυτό όμως όχι μόνο δεν ισχύει (τουλάχιστον στη Γαλλία) αλλά επιπλέον και οι λίγοι ερευνητές που προσπαθούν να διερευνήσουν αυτόν τον τομέα συναντούν τεράστιες δυσκολίες για να ακουστούν, για να δημοσιεύσουν τα δεδομένα τους, για να χρηματοδοτηθούν οι έρευνες τους, δυσκολίες που έχουν πολλά αίτια<sup>2</sup> και οι οποίες φανερώνουν συχνά τις αντιστάσεις στην ιδέα ότι μπορούμε με βάση αυτές τις γραφικές παραστάσεις και τη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς τους (μέσα από τις μεθόδους μοντελοποίησης ή προσομοίωσης) να ανακαλύψουμε συμπεριφορές που είναι απροσδόκητες και επιπλέον ενοχλητικές. Οι αντιστάσεις αυτές δεν οφείλονται μόνο στο γεγονός ότι οι βιολόγοι δεν διαθέτουν μαθηματική παιδεία. Γίνεται ακόμα και ένας τεράστιος αγώνας στον κόλπο της κοινωνίας των βιο-πληροφορικών, για να πείσουν για την αποδοχή των δραστηριοτήτων μοντελοποίησης ή προσομοίωσης αυτών των δυναμικών μη γραμμικών βιολογικών συστημάτων.

Τα αίτια για αυτές τις αντιστάσεις πιστεύω ότι πρέπει να τα αναζητήσουμε κυρίως στο επίπεδο των δυσκολιών<sup>3</sup> που αφορούν τα «απρόβλεπτα ενοχλητικά» φαινόμενα (παράδοξα και όχι σύμφωνα με τη «συνήθη» λογική), τα οποία αφθονούν στα αποτελέσματα των μελετών των δυναμικών μη γραμμικών συστημάτων, είτε πρόκειται για δίκτυα ρύθμισης ή άλλου βιολογικού ή φυσικού συστήματος, στα οποία ενέχονται μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις. Όπως γράφαμε σε μια πρόσφατη μελέτη<sup>4</sup>, «οι δυσκολίες που παρουσιάζονται από την εισαγωγή αυτών των καινοτόμων αντιλήψεων στους ερευνητές της βιολογίας ανήκουν περισσότερο στον φιλοσοφικό χώρο παρά στον επιστημονικό, και έχουν τον χαρακτήρα ενός επιστημολογικού εμποδίου».

Πάνω σε ερωτήματα αυτού του τύπου βασίστηκε ένα σεμινάριο που διεξάχθηκε στο πανεπιστήμιο της πόλης Ρουέν ανάμεσα στο 2000 και στο 2004 γύρω από τον Λυσιέν Σεβ<sup>5</sup>, που είχε ως συνέπεια τη συγγραφή του εγχειριδίου «Ανάδυση, πολυπλοκότητα και διαλεκτική: μη γραμμικά δυναμικά συστήματα», από το οποίο δανείζομαι στην παρούσα εργασία ένα μεγάλο μέρος, χωρίς να έχω φυσικά σκοπό να περιορίσω το περιεχόμενό του μόνο σε αυτές τις διαστάσεις.

## **2. Απρόβλεπτα (παράδοξα) συστήματα**

Θα αναφερθώ γενικώς σε μη γραμμικά συστήματα, όταν αυτά δεν διαθέτουν ιδιότητες ανάλογες με τα αίτια που τις προκάλεσαν και δεν είναι προσθετικές οι επιδράσεις των αιτιών στην εκδήλωση των ιδιοτήτων αυτών. Θα χρησιμοποιήσουμε τα αρχικά (ΜΓΑΣ – μη γραμμικά απρόβλεπτα συστήματα) για αυτά τα συστήματα που η εξέλιξή τους σχετικά με τον χρόνο μπορεί να μοντελοποιηθεί με μαθηματικό τρόπο, μέσα από ένα σύστημα μη γραμμικών κανονικών διαφορικών εξισώσεων. Το να αποκαλέσουμε ένα τέτοιο σύστημα μη γραμμικό σημαίνει ότι μία τουλάχιστον από τις σχέσεις που έχουν ληφθεί υπόψη, δηλαδή μία από τις διαφορικές εξισώσεις, δεν είναι γραμμική. Τα εν λόγω ΜΓΑΣ συστήματα δεν αντιπροσωπεύουν παρά μόνο ένα μικρό μέρος των πολύπλοκων συστημάτων, που ωστόσο η δυνατότητα να τα αποδώσουμε με έναν μαθηματικό τύπο μας επέτρεψε να μελε-

τήσουμε με ακρίβεια τις ιδιότητές τους, ιδιότητες που συχνά κατέστη δυνατόν να τις ξαναβρούμε στα συστήματα που δεν επιδέχονται εύκολα τον μαθηματικό φορμάλισμό<sup>6</sup>.

Αυτές λοιπόν οι ιδιότητες είναι πολύ γενικευμένες. Έχουμε διακρίνει τρεις ιδιότητες ανάμεσά τους, που να θυμίζουν την τυπική λογική και να μας καλούν προς τη διαλεκτική προσέγγισή τους. Πρόκειται για τις ιδιότητες της *ανάδυσης*, της *κυκλικής αιτιότητας*, που συνδέεται με τον ρόλο των παλίνδρομων κύκλων, και της *έκφρασης*, που εξάλλου έχει αμφισβητηθεί ως «ντετερμινιστική και όχι προβλέψιμη». Θα προσπαθήσω να σας δώσω μια σύντομη ιδέα, εστιάζοντας σε μία από τις προβληματικές εκδοχές, αυτή που συνοψίζεται στην ιδέα της *ανάδυσης*.

### 2.1. *Ανάδυση, κλαδοποίηση και αυτο-οργάνωση*

Οι απρόβλεπτες προβληματικές ιδιότητες έγιναν φανερές κατά τη μελέτη των καταστάσεων αυτών στις οποίες σταθεροποιούνται τα συστήματα ΜΓΑΣ. Γενικώς, από μία αρχική δεδομένη κατάσταση εξελίσσονται λίγο πολύ ταχέως προς καταστάσεις πιο κανονικές, οι οποίες αναλόγως με την τιμή ορισμένων παραμέτρων τους μπορούν για το ίδιο σύστημα να είναι ποιοτικά διαφορετικές. Όσον αφορά τη μεταβλητή του χρόνου, η κανονική κατάσταση μπορεί να χαρακτηρίζεται από στασιμότητα (να είναι αμετάβλητη σχετικά με τον χρόνο)<sup>7</sup>, από ρυθμικότητα (να εκφράζεται με την ίδια περιοδικότητα πάντα) ή να είναι αιωρούμενη, δηλαδή χωρίς περιοδικότητα (χαοτική). Όσον αφορά τη μεταβλητή του χώρου, η κανονική κατάσταση μπορεί να είναι ομογενής ή δομημένη. Όταν αυτές οι κανονικές καταστάσεις είναι σταθερές («αντιστέκονται» δηλαδή στις αναταράξεις) δρουν ως ελκυστές για την εξέλιξη των ΜΓΑΣ. Το σύνολο των ελκυστών περιγράφει συνελπώς τις ενδεχόμενες οργάνωσεις ενός πολύπλοκου συστήματος. Πράγμα που σημαίνει για ορισμένες τιμές μιας παραμέτρου που την ονομάζουμε «ρυθμιστή» ότι σε ορισμένες συνθήκες μπορούν να συνυπάρξουν πολλές λύσεις. Στη συγκεκριμένη περίπτωση (μιλάμε για την περίπτωση της *πολυστασιμότητας*) μπορεί να προσδιορίσουμε για κάθε λύση μία βάση έλκυσσης, η οποία θα αποτελείται από τις τιμές που μας οδηγούν στην εν λόγω λύση. Εκεί που συνορμούνται αυτές οι βάσεις, η επιλογή των λύσεων είναι τυχαία.

Με λίγα λόγια, αφενός ένα και το ίδιο σύστημα μπορεί να αλλάξει ριζικά συμπεριφορά όταν μία συνθήκη (για παράδειγμα το περιβάλλον) αλλάξει, αφετέρου, σε ορισμένες από αυτές τις συνθήκες, το σύστημα «επιλέγει» ανάμεσα σε δύο ή και σε περισσότερες κανονικές καταστάσεις (ή συμπεριφορές). Ονομάζουμε κλαδοποίηση τη μετάβαση ενός συστήματος από μία συμπεριφορά σε μία άλλη, είτε μετά από τροποποίηση μιας παραμέτρου είτε μετά από την υπέρβαση των συνόρων μεταξύ δύο βάσεων έλκυσσης. Ας δούμε από πιο κοντά αυτή την τελευταία περίπτωση: μια βάση έλκυσσης αντιστοιχεί σε όλες τις αρχικές συνθήκες του συστήματος που είχαν ως συνέπεια μια συγκεκριμένη κατάσταση. Εάν συνυπάρχουν πολλές βάσεις έλκυσσης, αυτό σημαίνει σύμφωνα με τις αρχικές συνθήκες (στη συνήθη γλώσσα σύμφωνα με την ιστορία του συστήματος) ότι μπορεί να καταλήξει σε μια δεδομένη κατάσταση ή σε μια άλλη. Το ίδιο σύστημα συνελπώς μπορεί να έχει διαφορετική εξέλιξη. Υπάρχουν πολλές ενδεχόμενες λύσεις για ένα παρόμοιο σύστημα που αποτελείται από τα ίδια συστατικά, και για το οποίο ισχύουν οι ίδιες συνθήκες. Η συμπεριφορά του συστήμα-

τος, είτε βρίσκεται σε μια κατάσταση ή σε κάποια άλλη, δεν εξαρτάται από τις ιδιότητες των στοιχείων αλλά από την ιστορία του συστήματος.

Για να καταλάβουμε περί τίνος πρόκειται, θα περιπλέξουμε λίγο τα πράγματα. Στις διακλαδώσεις που αναφέραμε προηγουμένως, το σύστημα ήταν χωρικά ομοιόμορφο. Αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχει ομοιομορφία και πρέπει να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα διάχυσης. Αυτές οι περιπτώσεις γεννούν χωρικές διαβαθμίσεις στις μεταβλητές του συστήματος. Και σε αυτές τις περιπτώσεις τα φαινόμενα διακλάδωσης είναι χαρακτηριστικά των μη γραμμικών συστημάτων. Για ορισμένες κριτικές τιμές των παραμέτρων, ίσως μπορεί να εμφανιστούν και εξελικτικές δομές μεγάλης έκτασης. Παραδείγματος χάριν, σε ένα δοχείο όπου λαμβάνει χώρα μια χημική αντίδραση<sup>8</sup>, ορισμένα μόρια που βρίσκονται εν δράσει συγκεντρώνονται σε σημεία της αντιδρώσας μάζας για να σχηματίσουν προοδευτικά κύματα σπειροειδή ή κύματα άλλων μορφών που εξαρτώνται από τη μορφή του δοχείου που περιέχει το σύστημα (συνθήκες περιορισμού). Αυτού του είδους οι δομές, που είναι ορατές εάν έχουμε φροντίσει να επιλέξουμε έγχρωμες αντιδράσεις, μαρτυρούν για τη συγκρότηση μιας χωροχρονικής συνοχής των διαφορετικών στοιχείων ενός μακροσκοπικού συστήματος που μπορεί να εμφανιστεί μετά από ένα σημείο διακλάδωσης. Διακλαδώσεις αυτής της μορφής αποτελούν τη βάση των εννοιών της αυτο-οργάνωσης στην εξέλιξη των συστημάτων. Παρουσιάζονται σε κάποιες χημικές αντιδράσεις και μπορούν να αναπαρασταθούν με μαθηματικά μοντέλα (εξισώσεις στις οποίες μερικά παράγωγα δεν είναι γραμμικά). Σε αυτά τα πειράματα βλέπει κανείς ότι ορισμένες συνολικές ιδιότητες εμφανίζονται σε ένα σύστημα χωρίς να έχουν αλλάξει οι αντίστοιχες ιδιότητες των συστατικών στοιχείων των συστημάτων. Το μόνο που έχει αλλάξει είναι οι σχέσεις, οι επιδράσεις ανάμεσα στα συστατικά στοιχεία του συστήματος. Στη χημική αντίδραση που αναφέραμε πριν, τα μόρια σε μικροσκοπικό επίπεδο (η αντίδραση του καθενός μορίου ξεχωριστά) αντιδρούν μεταξύ τους με τυχαίο τρόπο, ανάλογα με τις συναντήσεις τους. Τη στιγμή που επιτυγχάνεται η διακλάδωση (όταν η συγκέντρωση ορισμένων αντιδρώντων σωμάτων ξεπερνά την κριτική τιμή), οι συμπεριφορές των ξεχωριστών μορίων δεν αλλάζει, αλλά οι συνθήκες είναι τέτοιες ώστε εμφανίζεται στο δοχείο που τα περικλείει μια χωροχρονική ταξινόμηση σε μακροσκοπικό επίπεδο (όπως ο σχηματισμός ομοιόμορφων χωρικά σπειροειδών σχηματισμών). Η συνολική μεταλλαγή της οργάνωσης μέσα σε ένα απρόβλεπτο προβληματικό σύστημα είναι μια εσωτερική ιδιότητα του συστήματος αυτοοργάνωσης. Αυτή η διακλάδωση είναι συνεπώς ένα σαφές σημαντικό φαινόμενο μέσα από το οποίο ένα σύστημα αποκτά μία νέα συνολική συμπεριφορά και νέες ιδιότητες. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι μια παρόμοια διακλάδωση αποτελεί ένα παράδειγμα απλής ανάδυσης που επιδέχεται με αστήριο τρόπο ανάλυση.

Είναι πολυάριθμα τα παραδείγματα των φυσικών διακλαδώσεων αυτού του είδους<sup>9</sup>.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η ανάδυση παρόμοιων δομών απαιτεί να μην βρίσκεται σε ισορροπία το σύστημα. Ο Πριγκοζίν και η σχολή του αποκαλούν τις δομές αυτές «ατακτες» για να υπογραμμίσουν το γεγονός ότι δεν μπορούν να αναπαραχθούν παρά μόνο όταν η ενέργεια είναι σταθερά «σε αταξία»<sup>10</sup>.

## 2.2 Απρόβλεπτες (παράδοξες) ή διαλεκτικές έννοιες

Στη βιολογία, εδώ και πολύ καιρό έχει ήδη αναπτυχθεί ένας διάλογος γύρω από την έννοια της ανάδυσης, μιας έννοιας που χρησιμοποιήθηκε για να καθοριστούν οι σχέσεις ανάμεσα στις ιδιότητες αυτού που αποκαλείται επίπεδο οργάνωσης και στο αμέσως ανώτερο επίπεδο. (Για παράδειγμα, το γεγονός ότι οι συνολικές ιδιότητες ενός ζωντανού κυττάρου δεν ερμηνεύονται μόνον από τις ιδιότητες των συστατικών του, όπως γίνεται φανερό όταν τεμαχίζουμε έναν ζωντανό ιστό.) Αυτός ο διάλογος σχηματοποιήθηκε μέσα από την έκφραση «το όλον είναι περισσότερο (ή δεν είναι περισσότερο) από το άθροισμα των μερών του. Το πρόβλημα εστιάζεται στον περίγυφο ενός μη αναγωγικού παραδόξου. Εξ ορισμού, ένα όλον δεν είναι φτιαγμένο από τίποτα άλλο παρά μόνον από τα μέρη του και ωστόσο παρουσιάζει ιδιότητες που δεν έχουν καμία σχέση με αυτά. Με άλλα λόγια, μέσα στη μετάβαση (στατική ή εξελικτική) από τα μέρη στο όλον, αναδύονται ιδιότητες που δεν ενιπάρχουν στα μέρη και δεν μπορούν να ερμηνευτούν από αυτά. Όλα συμβαίνουν ωσάν να δημιουργείται μια αυθόρμητη γενεά ιδιοτήτων για το όλον ενώ θέλουμε να το θεωρούμε ως μη διαφορετικό από το σύνολο των μερών του: αυτό είναι το φαινόμενο που ο Λυσιέν Σεβ αποκαλεί *παράδοξο της ανάδυσης* με όλη τη σημασία του όρου.

Ακριβώς αυτή η διάσταση έχει τροφοδοτήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα τη διαμάχη ανάμεσα στους αναγωγιστές (χρησιμοποιώ εδώ τον όρο με την ιδεολογική και όχι τη μεθοδολογική του σημασία), για τους οποίους το όλον είναι ίσον με το άθροισμα των μερών του (για την ακρίβεια, οι ιδιότητες ενός ανώτερου επιπέδου εξάγονται από τις ιδιότητες του κατώτερου) και οι οποίοι αρνούνται την πραγματικότητα της ανάδυσης, και στους αντι-αναγωγιστές (της ολιστικής ή συνολικής αντίληψης), για τους οποίους οι ιδιότητες του όλου που αποκαλούνται αναδυτικές είναι ανεξάρτητες από αυτές των μερών τους, συνεπώς είναι μυστηριώδεις!

Και να λοιπόν που η μελέτη των μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων μάς επιτρέπει να κατανοήσουμε πως οι αναδυτικές ιδιότητες του όλου δεν μπορούν να είναι ανεξάρτητες από τα μέρη του (για παράδειγμα δεν μπορούν όλες οι χημικές αντιδράσεις να προκαλέσουν φαινόμενα αυτοοργάνωσης) αλλά επίσης δεν μπορούν και να περιέχονται στα μέρη τους (τα ίδια μέρη συμβάλλουν διαφορετικά στην ανάδυση των συνολικών ιδιοτήτων): η ανάδυση αντιπροσωπεύει τις δυναμικές σχέσεις ανάμεσα στα μέρη ενός συστήματος κατά τρόπο που μπορεί να αναλυθεί απολύτως και ακόμα να μετρηθεί. *Η διαμάχη λοιπόν δεν έχει λόγο ύπαρξης!* Ωστόσο και τα δύο στρατόπεδα επιμένουν να διατηρούν τις ίδιες θέσεις. Έτσι, από το 1949 ο μαθηματικός Ντελμπρούζ πρότεινε ότι η διαφοροποίηση των ιστών κατά τη διάρκεια της εμβρυϊκής ανάπτυξης μπορεί να ιδωθεί ως μια κατάσταση πολυστασιμότητας. Αλλά οι περισσότεροι βιολόγοι ακόμα και τώρα αρνούνται αυτή την ερμηνεία και παραβλέπουν όλα τα φαινόμενα που δεν ερμηνεύονται παρά μόνο από την πολυστασιμότητα, δηλαδή μέσα από το αποτέλεσμα μιας μη γραμμικής δυναμικής. Αυτό δεν είναι τάχα η ένδειξη ενός ισχυρού εμποδίου που παρεμβάλλεται στην ερμηνεία ενός αντιφατικού φαινομένου λόγω άγνοιας της διαλεκτικής λογικής:

Όντως από τη σκοπιά της λογικής, το παράδοξο της ανάδυσης συνδέεται με μια λογική τυπική αντίφαση, που η επιστημονική λογική αποκλείει αλλά που τα δεδομένα την επιβάλ-

λοιν (το όλον εξαρτάται και δεν εξαρτάται από τις ιδιότητες των μερών του). Η ανάδυση και τα ΜΓΑΣ θα μας καταδικάσουν να συμμαχήσουμε με τον ανορθολογισμό: Θεωρούμε ότι η διαλεκτική αποτελεί τη συμπύλιωση των επιστημονικών δεδομένων και του ορθολογισμού.

Παραδείγματος χάριν, δεν μπορεί να μην εντυπωσιαστεί κανείς από την ομοιομορφία των εκφράσεων που χρησιμοποιούνται από τον Χέγκελ όταν στοχάζεται τη διαλεκτική της ποιότητας και της ποσότητας, ένας στοχασμός που έχει ως επίκεντρο την κατηγορία του ποιοτικού άλματος, και των όρων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των συστημάτων ΜΓΑΣ. Αυτό που μας λείπει ο Χέγκελ είναι ότι η ποιοτική αλλαγή<sup>11</sup> είναι ακριβής, με άλλα λόγια δημιουργείται σε ένα καθορισμένο σημείο της ποσοτικής αλλαγής, όταν το σημείο αυτό αποκτά την τιμή κάτω από την οποία καταργούνται οι συνθήκες ύπαρξης μιας ορισμένης ποιότητας (αναγνωρίζεται εδώ η έννοια των συνόρων ανάμεσα στις βάσεις έλκυσσης, ή το κριτικό σημείο κατά την τροποποίηση της μεταβλητής της ρύθμισης). Άρα μπορούμε να σκεφτούμε μαζί, και —ακόμα καλύτερα— δεν μπορούμε να σκεφτούμε *παρά μόνο* μαζί, τη συνέχεια και τη ρήξη μέσα στο υποκειμενικό ρεύμα της μετάβασης ή στην αντικειμενική διαδικασία της αλλαγής μιας ποιότητας σε μια άλλη<sup>12</sup>.

### 3. Η χρησιμότητα της διαλεκτικής ως μιας «μη γραμμικής» λογικής

Δεν θέλω στο σημείο αυτό να επεκταθώ στις καταπληκτικές σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στην απάντηση των συστημάτων ΜΓΑΣ στο πρόβλημα της ανάδυσης και σε αυτή της διαλεκτικής όπως τη διατύπωσε ο Χέγκελ, περιλαμβάνοντας το ποιοτικό άλμα ως κατηγορία. Σας παραπέμπω για το πρόβλημα αυτό στο κείμενο του Λυσιέν Σεβ, στο οποίο βρίσκονται υπό μελέτη συγκρινόμενα με τη διαλεκτική και άλλα παραδείγματα παράδοξων, αντιφατικών εννοιών (κυκλική αιτιότητα και μη προβλέψιμος ντετερμινισμός). Όμως, λόγω της ιδιότητας μου ότι ανήκω στον κόσμο των βιολόγων, οφείλω να αναρωτηθώ εάν και πώς η προσφυγή σε αυτή τη φιλοσοφία που ορισμένοι τη θεωρούν «παρελθοντολογική» μπορεί να μας βοηθήσει να δεχθούμε μια επιστήμη που ακόμη δεν είναι της μόδας;

Φυσικά υπάρχει μια «κακή» απάντηση στο ερώτημα αυτό, μια απάντηση που έχει σχέση με τις φοβερές αποκλίσεις που έχουν συσσωρευτεί με την «υπόθεση Λυσένκο», που μας οδηγεί να δηλώσουμε την άποψη μας ότι το γεγονός ότι θεωρούμε τη διαλεκτική ως μια αποτελεσματική μέθοδο «αποδεικνύει» ότι η μη γραμμικότητα είναι η «πραγματική» επιστήμη. Δεν θα χρειαζόταν να το αναφέρουμε αυτό, αλλά οι ζωντανές ακόμη πληγές στις μνήμες δικαιολογούν κάποιες προφυλάξεις.

Υπάρχουν ουσιαστικά δύο απαντήσεις σε αυτό το ερώτημα. Εάν η φύση των ενδοιασμών πολλών επιστημόνων έχει φιλοσοφικά συνειδητά ή μη θεμέλια, τότε η αναγκαία απάντηση πρέπει να είναι φιλοσοφική. Μήπως δεν παρατηρείται το φαινόμενο ότι πολλοί επιστήμονες αυτού του ρεύματος που αποκαλούμε ρεύμα της μη γραμμικότητας, το οποίο πολλοί αναγνωρίζουν με το όνομα της πολυπλοκότητας, δεν ψάχνουν την απάντηση στις φιλοσοφίες της Άνω Ανατολής<sup>13</sup>; Αυτό που απέδειξε ο Λυσιέν Σεβ είναι ότι η διαλεκτική μπορεί να απαντήσει άμεσα και σαφώς στα κύρια φιλοσοφικά ερωτήματα, σαφή και υπνοοούμενα, που αναδύονται από τις συμπεριφορές των μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων.

Εδώ, λοιπόν, σε αυτό το σημείο περιλαμβάνεται η δεύτερη μου απάντηση. Εάν η σκέψη του Χέγκελ, έτσι όπως έχει τροποποιηθεί σύμφωνα με τις ματεριαλιστικές θέσεις του Μαφξ, μπορεί να απαντήσει στα φιλοσοφικά ερωτήματα των πρόσφατων επιστημών, τότε αυτό δεν αποτελεί μια ένδειξη για την αξία αυτής της σκέψης. Και δεν έχουμε σε αυτή την περίπτωση μια θετική παλινδρόμηση με την ενίσχυση της διαλεκτικής, στο βαθμό που αυτή μπορεί να συμβάλλει ώστε οι επιστήμονες να την εντάξουν στο στοχασμό τους και να κατανοήσουν τα απρόβλεπτα φαινόμενα: Έτσι μπορεί να σκεφτούμε ότι οι υπολογιστές, δεδομένου ότι καθιστούν δυνατή τη μελέτη των δυναμικών μη γραμμικών συστημάτων, τα οποία φανερόνουν το μέγεθος των διαλεκτικών περιπτώσεων στη φύση, είναι αυτοί που άνοιξαν την πόρτα στα φιλοσοφικά ερωτήματα που προσδίδουν στη διαλεκτική τη θέση της στην επιστημονική σκέψη. *Οι επιστήμες της πολυπλοκότητας είναι ίσως αυτές που θα καταστήσουν δυνατό λόγω του ότι είναι αναγκαίο, το τέλος του μοναχικού δρόμου της διαλεκτικής.*

Ταυτοχρόνως, στο ίδιο ρεύμα δεν μπορεί να μην γίνεται αντιληπτό ότι και η ίδια η διαλεκτική μετασχηματίζεται, εμπλουτίζεται με την επαφή με τις διαλεκτικές φόρμες αυτής της νέας επιστήμης, κάτι που την καθιστά ακόμη πιο αποδοτική μέσα στον ρόλο της, αυτόν της λογικής της πολυπλοκότητας. Για να παραμείνουμε στον τομέα της ανάδυσης, όμως, είναι δυνατόν να μην βλέπουμε την αντίθεση ανάμεσα στον πλούτο και τη διαφορετικότητα των εννοιών της αυτοοργάνωσης, της κλαδοποίησης, της άτακτης δομής, ή των αλλαγών των φάσεων (με την επικυριαρχία των παλινδρομήσεων, δηλαδή της κυκλικής αιτιότητας, για την οποία δεν είχα χρόνο να αναφερθώ) και στη σχετική πενία της κατηγορίας του ποιητικού άλματος έτσι όπως το παρουσίασε ο Χέγκελ;

Η τυπική λογική είναι θεμελιωμένη στη γραμμικότητα (αναλογική και προσθετική). *Η ζωντανή διαλεκτική λογική που είναι συμβατή με τη μη γραμμική σκέψη, με τη πολυπλοκή σκέψη, ενδεχομένως μπορεί να καταστεί η λογική του 21ου αιώνα.*

Όμως το ενδιαφέρον που προκύπτει από τη λογική που μας επιτρέπει να σκεφτόμαστε τη μη γραμμικότητα είναι σαφώς μεγαλύτερο από τη βοήθεια που προσφέρει στο στοχασμό προς τις φυσικές επιστήμες. Θεωρώ ότι η μη γραμμικότητα (όρος που χρησιμοποιώ εδώ για να δηλώσω ένα κίνημα ιδεών και ανακαλύψεων που οι περισσότερες είναι μελλοντικές) αποτελεί ένα τιμόνι που οδηγεί το σύνολο των αντιλήψεων μας για τον κόσμο προς μετασχηματισμό και που οι διαστάσεις αυτές του εν λόγω μετασχηματισμού δεν έχουν γίνει ακόμη αντιληπτές. Ο άγγλος μαθηματικός Ιαν Στιούαρτ συγκρίνει τον όρο «μη γραμμικότητα» με τον όρο της «μη παχυδερμίας», τον οποίον χρησιμοποιούσαν οι βιολόγοι που ανακάλυπταν την ποικιλομορφία της έμβιας ύλης αφού για πολλά χρόνια δεν γνώριζαν παρά μόνο τους ελέφαντες<sup>14</sup>. Αυτό υποδηλώνει ότι η γραμμική σκέψη δεν αποτελεί παρά ένα μικρό μέρος μιας πλήρους δυναμικής σκέψης, της «μη γραμμικής σκέψης», ακόμα και αν οι γραμμικές δυναμικές μας είναι χρήσιμες για τη μοντελοποίηση ενός μεγάλου αριθμού συστημάτων, είτε πρόκειται για τις μηχανές που κατασκευάζονται είτε για την κβαντική μηχανική. Αυτό που εξαφανίζεται είναι η σκέψη αυτού που αποκαλούσαμε «παντοκρατορία της γραμμικότητας». Θεωρώ ότι πρόκειται για έναν μετασχηματισμό μεγάλης σημασίας για τη συλλογική και την ατομική σκέψη, μετασχηματισμό που βρίσκεται ακόμη στα σκαριά. Δεν είχα χρόνο παρά μόνο για να σκιαγραφήσω ένα μικρό μέρος από αυτούς τους με-

τασηματισμούς της σκέψης που προκάλεσε το νέο παράδειγμα. Συνήθως οι άλλοι επιμένουν κυρίως στα θέματα της αοριστίας, της απροβλεψιμότητας και της μη αντιστρεψιμότητας. Συνολικά, *πρόκειται για έναν μετασηματισμό στον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο, συγκρινόμενο με αυτόν που έλαβε χώρα μετά τη μετάβαση στον ηλιοκεντρισμό, που ανοίγει πολλές προοπτικές αλλά και χτίζει άλλα τόσα σύνορα.*

Το κυριότερο σύνορο, όπως αυτό θα συνέβη χωρίς αμφιβολία και με το ηλιοκεντρικό σύστημα, προέρχεται από τη δύναμη που έχει η *ριζωμένη στο συλλογικό υποσυνείδητο συνήθεια της γραμμικής λογικής*. Θα χρησιμοποιήσω ένα απλό παράδειγμα. Υπάρχει σήμερα μια σύγχυση υπονοούμενη ή καθαρή ανάμεσα στις έννοιες *πολύπλοκο και περίπλοκο*. Για κάποιους είναι πολύπλοκο ό,τι έχει σχέση με ανάδυση, με μη γραμμικότητα. Ένα πολύπλοκο σύστημα μπορεί να είναι πολύ απλό, αλλά πρέπει να διαθέτει αναδυτικές ιδιότητες. Για άλλους αντίθετα, πολύπλοκο είναι αυτό που είναι περίπλοκο (και είναι αλήθεια ότι πολλά πολύπλοκα συστήματα παρουσιάζουν μη γραμμικές δυναμικές σχέσεις και συνεπώς είναι όντως πολύπλοκα συστήματα). Αλλά αυτή η σύγχυση επιτρέπει σε ορισμένους να απαλείψουν εντελώς τις μη γραμμικές έννοιες και συμπεριφορές και να επικεντρωθούν ήρεμα στην ιδέα του αθροίσματος, που απαιτεί για τη μελέτη του τη χρήση των υπολογιστών (όπως τα τραπεζιτικά δεδομένα), σκεπάζει όμως την εννοιολογική φτώχεια. Αυτή η σύγχυση συνδέεται βαθιά με την πάλη ενάντια στο νέο παράδειγμα, ενάντια στην έλευση αυτού του νέου ορθολογισμού μέσα στις επιστήμες.

Αλλά η σύγχυση αυτή είναι ακόμη μεγαλύτερη. Στην πραγματικότητα, η πρόσφατη ιδέα για τις «επιστήμες της πολυπλοκότητας» προκύπτει από την πεποίθηση που βασίζεται στις μελέτες όλο και περισσότερων περιπτώσεων ότι τα πολύπλοκα φαινόμενα υπακούουν σε γενικούς νόμους, που έχουν την τάση να εφαρμόζονται σε όλες τις επιστήμες, είτε αυτές έχουν ως αντικείμενο τη φύση, είτε τις ανθρωπιστικές και κοινωνικές επιστήμες, ακόμα και τις πολιτικές. Συνεπώς τα αποτελέσματα από τις μελέτες των συστημάτων ΜΓΑΣ θα όφειλαν να εφαρμόζονται ευρέως, φυσικά αν χρησιμοποιούνται με διορατικότητα, δηλαδή με τη μορφή ερωτημάτων και όχι ως «τελειωμένες» απαντήσεις. Εκ παραλλήλου, με την παγκοσμιοποίηση, εμφανίζονται όλο και πιο συχνά τα δίκτυα αλληλεπιδράσεων (που φυσικά είναι μη γραμμικά), είτε πρόκειται για δίκτυα σύμφωνα με τις αρχές του φιλελευθερισμού είτε για δίκτυα στο επίπεδο των δυνάμεων ενάντια στην παγκοσμιοποίηση. Ο όρος πολυπλοκότητα, εξάλλου, επαναλαμβάνεται συνεχώς στις περιγραφές του σύγχρονου κόσμου, αλλά και στην προκειμένη περίπτωση συχνά χαρακτηρίζει μόνο την περίπλοκη κατάσταση των πραγμάτων και συμβάλλει στο να εμποδίζει τα αναδυόμενα ερωτήματα. Η χρήση των αποτελεσμάτων των επιστημών της πολυπλοκότητας μπορεί να έχει συνέπειες πολύ σοβαρές στο επίπεδο της ανάλυσης του σύγχρονου κόσμου, συμβάλλοντας στην επεξεργασία μεθόδων που τόσο τις χρειαζόμαστε για να προωθήσουμε τις κοινωνικές μεταλλάξεις. *Η διαλεκτική των ζώντων, διευκολύνοντας την κατανόηση της πολυπλοκότητας σε όλα τα επίπεδα, καθιστάμενη η λογική της σύγχρονης σκέψης, θα μπορούσε να ενισχύσει το κίνημα του κοινωνικού μετασηματισμού, να ανακαλύψει και να ιδιοποιηθεί τις νέες μεθόδους που τις έχει ανάγκη.*

**Μετάφραση: Λαοκρατία Λάκκα**



## Σημειώσεις

1. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των προγραμμάτων είναι ότι εννοούν στον μερικό βαθμό εφάνεζ που προκύπτουν από τη ρενομιση και που αποκαλούνται ζαινοτομεις, και οι οποιες οδηγούν στην παρέρωτη προόυντων μεγάλης σημασίας για τις φαρμακευτικές και βιοτεχνολογικές εταιρίες. Εμεις ομως θα αγνοήσουμε αυτή την πλένρη προς το παρόν.
2. Δεν πρέπει επίσης να αγνοηθούν οι πιεσεις που ασκούνται από τα οικονομικά λοιπη που προτιμούν εφάνεζ με ταχείες οικονομικές αποδόσεις.
3. Δεν πρέπει επίσης να αγνοηθούν και οι δυσκολίες που απορρέουν από την υποθήτηση νέων επιξηρηματιζων σχημάτων η από τις διασυνδέσεις με την κοινωνιολογία της εφάνεζ (οποες περιγράφονται από τον Μισέλ Μοράνζ στο νέο του βιβλίο *Les secrets du vivant : contre la pensée unique en biologie* (Το μυστικό της ζωής: εναντία στη μοναδική σκέψη στη βιολογία) που εκδόθηκε το 2005 από τις εκδόσεις La Decouverte).
4. Janine Guespin-Michel και C. Ripoll, «La non-linearité, un nouvel obstacle epistemologique a la pluridisciplinarité en biologie» (Η μη γραμμικότητα, ένα νέο επιστημολογικό εμπόδιο στην πολυεπιστημονικότητα της βιολογίας), ASTER, τ. 30, 2000.
5. Lucien Sève και άλλοι, *Emergence, complexité et dialectique: sur la dynamique des systemes non lineaires* (ανάδυση, πολυπλοκότητα και διαλεκτική μη γραμμικά δυναμικά συστήματα), Εκδόσεις Odile Jacob, Παρίσι 2005.
6. Εδώ τίθεται το πρόβλημα της επέκτασης αυτών των ιδιοτήτων. Μια πρώτη επέκταση πραγματοποιήθηκε προς τα δυναμικά συστήματα, τα οποία είναι κυρίως τα πολυταραχονικά η τα κντταρικά αυτόματα συστήματα, που επιτρέπουν την προσομοίωση των φυσικών η θεωρητικών διαδικασιών στον υπολογιστή. Η μεθοδολογία αυτή επέτρεψε τη μελέτη ενός μεγάλου αριθμού περιπτώσεων, πολύ περισσότερων από αυτές που είναι δυνατόν να εντάσσονται στα ΜΓΑΣ συστήματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις βρισκόμυε εκ νέου τις ιδιότητες που απορρέουν από τα ΜΓΑΣ συστήματα (και πολλές φορές και άλλες συμπληρωματικές). Πιο δυσκολο είναι το πρόβλημα με τα πολύπλοκα συστήματα για τα οποία δεν διαθέτουμε ούτε μαθηματικό μοντέλο ούτε μοντέλο προσομοίωσης. Είναι ωστόσο δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε ακόμα και αυτές τις ιδιότητες, τουλάχιστον μεταφορικά, υπό τον όρο να χρησιμοποιηθούν υποθετικά ως πηγές ερωτημάτων και όχι ως α priori απαντήσεις.
7. Σε μια στάσιμη, σταθερή κατάσταση, οι τιμές των μεταβλητών δεν αλλάζουν αλλά, αντιθέτως με την κατάσταση ισορροπίας, τίποτα δεν σταματά. Μια μπανιέρα που γεμίζει με τον ίδιο ρυθμό που αδειάζει είναι σε στάσιμη κατάσταση. Εάν το πόμα και η βροση της μπανιέρας είναι κλειστά, βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας.
8. Παράδειγματος χάριν η αντίδραση των Belousov-Zhabotinsky, στην οποία αλληλεπιδρούν πολλά αντιδραστήρια μεταξύ τους.
9. Η σύμψαση των Rayleigh-Benard στη μηχανική των ρευστών, η αντίδραση των Belousov-Zhabotinsky στη χημεία, η συγγέντρωση των αμοιβάδων Dictyostelium η η μορφογένεση του φύζου Acetabularia στη βιολογία κ.λπ. Δείτε για παράδειγμα το βιβλίο του B. Goodwin, *How the leopard changed its spots – the evolution of complexity*, Phoenix, 1994· G. Nicolis και I. Prigogine, *A la rencontre du complexe*, PUF, 1989· B. Goodwin και R. Sole, *Signs of life, how complexity pervades biology*, Basic Books, 2000.
10. Αντίθετα, περιγράφηκε το 1952 από τον Αλάν Τούρινγκ μια άλλης μορφής διακλάδωση που να οδηγεί στην ανάδυση χωρικής οργάνωσης. Αυτός απέδειξε ότι για ορισμένα κλειστά συστήματα (που δεν ανταλλάσσουν υλικά με το εξωτερικό περιβάλλον), στα σύνολα των οποίων οι μεταβλητές διατηρούν μια σταθερή τιμή, η ομογενής κατάσταση (ομοιομορφία των χωρικών μεταβλητών) καθίσταται ασταθής όταν οι μεταβλητές αποκτούν τις ιδιαίτερες τιμές που χαρακτηρίζουν έναν κριτικό τομέα. Έτσι, συγχροτείται μια όχι ομοιομορφη χωρική κατάσταση, στην οποία εμφανίζονται σταθερές μακροσκοπικές δομές, που ονομάζονται δομές του Τούρινγκ.
11. Αναφέρεται στο πρώτο του βιβλίο της *Επιστήμης της Λογικής*.
12. Lucien Sève και άλλοι, ό.π.
13. Δείτε για παράδειγμα τις συνεντεύξεις που πραγματοποίησε η Ρέντα Μπενκιράν (R. Benkirane) στο ζεύμενο *Complexité, vertiges et promesses* (Πολυπλοκότητα, ίλιγγος και υποσχέσεις), Παρίσι, εκδόσεις Le Pommier, 2002.
14. Ιαν Στιούαρτ, *Παίζει ο Θεός ζάρια*, Τραυλός, 1998.



*Oskar Kokoschka, Ο Ευαγγελισμός, 1911*