

Πρόλογος

Οι μεγάλες εξισώσεις του 20ού αιώνα

*Η επιστήμη είναι γι' αυτούς που μαθαίνουν,
η ποίηση γι' αυτούς που γνωρίζουν.*
Joseph Roux από το *Διαλογισμοί ενός ενοριακού ιερέα*,
μέρος πρώτο, αριθμ. 71 (1886)

Σε μια ραδιοφωνική συνέντευξη που έδωσε το Μάιο του 1974 για να παρουσιάσει την ποιητική συλλογή του *High Windows*, ο Philip Larkin επεσήμανε ότι ένα καλό ποίημα μοιάζει με κρεμμύδι. Εξωτερικά, είναι και τα δυο ευχάριστα, απαλά και αινιγματικά, ενώ αυτές τους οι ιδιότητες επαυξάνονται καθώς αποκαλύπτονται τα διαδοχικά τους νοηματικά στρώματα. Στόχος του ήταν να γράψει το τέλει κρεμμύδι.

Η ποίηση της επιστήμης είναι κατά κάποιο τρόπο ενσωματωμένη στις μεγάλες εξισώσεις της. Όπως μάλιστα θα φανεί και από τα κείμενα που περιέχονται σ' αυτό το βιβλίο, ακόμα και αυτές οι εξισώσεις έχουν τη δυνατότητα να ξεφλουδιστούν. Ωστόσο, τα επιμέρους στρώματά τους αντιπροσωπεύουν τις ιδιότητες και τις συνέπειές τους. Όχι την ουσία τους.

Παρά τις φιλότιμες προσπάθειες των ποιητών και των λογοτεχνικών κριτικών, κανείς δεν κατάφερε ποτέ να δώσει ένα γενικώς αποδεχτό ορισμό του ποιήματος. Οι μαθηματικοί από τους οποίους ζητείται να ορίσουν τον όρο «εξίσωση» δεν αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους προβλήματα. Κατά βάση, μια εξίσωση είναι μια έκφραση της απόλυτης ισορροπίας. Για τον καθαρό μαθηματικό –τον οποίο δεν αφορούν συνήθως οι εφαρμογές στις φυσικές επιστήμες– η εξίσωση είναι μια αφηρημένη πρόταση η οποία δεν σχετίζεται διόλου με συμπαγείς πραγματικότητες του πραγματικού κόσμου. Όταν λοιπόν οι μαθηματικοί βλέπουν μια εξίσωση σαν την $y = x + 1$, θεωρούν τα y και x ως απολύτως αφηρημένα σύμβολα που δεν αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένα, υπαρκτά αντικείμενα.

Είναι απόλυτα εφικτό να φανταστούμε ένα σύμπαν στο οποίο οι εξισώσεις δεν έχουν καμία σχέση με τις διαδικασίες της φύσης. Ωστόσο, αυτό που είναι θαυμαστό, είναι το γεγονός ότι έχουν. Αποτελεί συνήθη πρακτική των επιστημόνων να δίνουν στους νόμους τους τη μορφή εξισώσεων, των οποίων κάθε σύμβολο αντιπροσωπεύει μια ποσότητα μετρήσιμη από τους πειραματιστές. Αυτή ακριβώς η συμβολική αναπαράσταση είναι που κατέστησε τις εξισώσεις ένα από τα πιο ισχυρά όπλα στη διάθεση των επιστημόνων.

Γνωστότερη από όλες τις εξισώσεις των θετικών επιστημών είναι η $E = mc^2$, η

οποία προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Einstein το 1905. Όπως όλες οι σπουδαίες εξισώσεις, διατυπώνει μια απροσδόκητη ισότητα μεταξύ, εκ πρώτης όψεως, αρκετά διαφορετικών ποσοτήτων¹ – ενέργεια, μάζα και ταχύτητα του φωτός στο κενό. Μέσω αυτής της εξίσωσης, ο Einstein προέβλεψε ότι αν πολλαπλασιάσεις οποιαδήποτε μάζα (m) δύο φορές με την ταχύτητα του φωτός στο κενό (που συμβολίζεται με το γράμμα c), το αποτέλεσμα είναι ακριβώς ίσο με την αντίστοιχη ενέργεια (E). Δηλαδή $E = m \times c \times c = mc^2$.

Όπως κάθε άλλη εξίσωση, η $E = mc^2$ εξισορροπεί δύο ποσότητες, με τον ίδιο τρόπο που το κάνουν τα τάσια της ζυγαριάς, χρησιμοποιώντας το σύμβολο «=» σαν άξονα. Όμως ενώ τα τάσια της ζυγαριάς εξισορροπούν βάρη, οι περισσότερες εξισώσεις εξισορροπούν άλλες ποσότητες: η $E = mc^2$, για παράδειγμα, εξισορροπεί ενέργειες. Η ονομαστή αυτή εξίσωση ξεκίνησε τη ζωή της σαν ένας ενορατικός συλλογισμός του Einstein που έπρεπε να περάσουν δεκαετίες για να ενσωματωθεί στο κυρίως σώμα των επιστημονικών γνώσεων, αφού οι πειραματιστές είχαν πια δείξει ότι είναι πράγματι συμβατή με τη φυσική πραγματικότητα. Ως χαρακτηριστική εικόνα του 20ού αιώνα πλέον, η $E = mc^2$ είναι από τα λίγα πράγματα που κάθε διαγωνιζόμενος σε τηλεπαιχνίδι οφείλει να γνωρίζει περί επιστήμης².

Όπως όλες οι σπουδαίες επιστημονικές εξισώσεις, η $E = mc^2$ έχει πολλά κοινά με ένα σπουδαίο ποίημα. Όπως ακριβώς ένα τέλειο σονέτο καταστρέφεται με την αλλαγή μιας και μόνο λέξης ή ενός σημείου στίξης, έτσι και η παραμικρή αλλαγή σε μια εξίσωση όπως η $E = mc^2$ την καθιστά άχρηστη. Η $E = 3mc^2$, για παράδειγμα, ουδενία σχέση έχει με τη φύση.

Οι σπουδαίες εξισώσεις, όπως και τα τελειότερα ποιήματα, διαθέτουν, εκτός των άλλων, και μια εξωπραγματική δύναμη. Η ποίηση είναι η πιο συνεκτική και περιεκτική μορφή του γραπτού λόγου, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που οι σπουδαίες εξισώσεις της επιστήμης είναι η πιο περιεκτική έκφραση της φυσικής πραγματικότητας που περιγράφουν. Η $E = mc^2$ είναι από μόνη της πανίσχυρη: τα λιγιστά της σύμβολα συμπεκνώνουν μια γνώση που βρίσκει εφαρμογή σε κάθε ενεργειακή μετατροπή, ξεκινώντας από αυτές που λαμβάνουν χώρα στο κύτταρο οποιουδήποτε ζωντανού πλάσματος στη Γη και καταλήγοντας στην πιο απομακρυσμένη κοσμική έκρηξη. Επιπροσθέτως, φαίνεται πως ισχύει ακόμα και στην αυγή του χρόνου.

Με τον ίδιο τρόπο που η προσεκτική μελέτη μιας σπουδαίας εξίσωσης δίνει σταδιακά τη δυνατότητα στους επιστήμονες να δουν πράγματα που αρχικώς είχαν αγνοήσει, η επαναλαμβανόμενη ανάγνωση ενός σπουδαίου ποιήματος εξάπτει, κατά κανόνα, νέα συναισθήματα και δημιουργεί νέους συνειρμούς. Οι σπουδαίες εξισώσεις τροφοδοτούν την κατάλληλα προετοιμασμένη φαντασία με ερεθίσματα εξίσου πλούσια με αυτά ενός ποιήματος. Όπως ο Shakespeare δεν θα μπορούσε να φανταστεί τα πολλαπλά νόηματα που οι αναγνώστες αντιλαμβάνονται μέσα από το στίχο: «Να σε συγκρίνω με μια μέρα του καλοκαιριού;» (σονέτο 18), άλλο τόσο κι ο Einstein δεν μπορούσε να προβλέψει τις αμέτρητες συνέπειες των εξισώσεών του για τη σχετικότητα.

Με όσα ανέφερα πιο πάνω, δεν προσπαθώ να υπαινιχθώ ότι η ποίηση και οι

επιστημονικές εξισώσεις είναι ένα και το αυτό. Κάθε ποίημα γράφεται σε μια συγκεκριμένη γλώσσα και χάνει τη μαγεία του μέσω της μετάφρασης, αντίθετα με μια εξίσωση που είναι διατυπωμένη στην παγκόσμια γλώσσα των μαθηματικών: η $E = mc^2$ είναι ίδια είτε στα Αγγλικά είτε στα Urdu¹. Επίσης, ενώ οι ποιητές αναζητούν πολλαπλά νόηματα και αλληλεπιδράσεις μεταξύ λέξεων και σκέψεων οι επιστήμονες στοχεύουν στο οι εξισώσεις τους να αποδίδουν ένα και μόνο λογικό νόημα³.

Το νόημα μιας σπουδαίας επιστημονικής εξίσωσης συνήθως μας προμηθεύει με αυτό που αποκαλούμε νόμο της φύσης. Μια δημοφιλής αναλογία του φυσικού Richard Feynman βοηθάει στη διευκρίνιση της σχέσης μεταξύ εξισώσεων και νόμων⁴. Φανταστείτε κάποιους ανθρώπους που παρακολουθούν ένα παιχνίδι σκάκι. Αν δεν είχαν ποτέ διδαχθεί τους κανόνες του σκακιού, θα μπορούσαν να τους βρουν σύντομα μόνοι τους, απλώς παρακολουθώντας πώς κινούν τα διάφορα κομμάτια οι παίκτες. Φανταστείτε τώρα ότι οι παίκτες δεν παίζουν σε μια συνηθισμένη σκακιέρα, αλλά κινούν τα πιόνια με βάση πολύ πιο περίπλοκους κανόνες σε μια απέραντη σκακιέρα. Για να μπορέσουν οι παρατηρητές να βρουν τους κανόνες του παιχνιδιού, θα έπρεπε να παρακολουθούν κάθε φάση του με αμέριστη προσοχή, αναζητώντας κανονικότητες και ό,τι άλλα στοιχεία θα μπορούσαν να συγκεντρώσουν. Αυτή είναι ουσιαστικά η θέση των επιστημόνων. Παρατηρούν τη φύση πολύ προσεκτικά – τις κινήσεις των κομματιών στη σκακιέρα– και προσπαθούν να ανακαλύψουν τους υφιστάμενους νόμους.

Γιατί οι πιο θεμελιώδεις νόμοι μπορούν να γραφούν τόσο βολικά ως εξισώσεις; Να ένα αίνιγμα που έχει νικήσει στρατιές ολόκληρες στοχαστών. Γιατί άραγε συμβαίνει τόσο πολλοί νόμοι να μπορούν να εκφραστούν ως απόλυτοι κανόνες που δηλώνουν ότι δυο φαινομενικά άσχετες ποσότητες (το δεξιά και το αριστερό μέλος της εξίσωσης) είναι ακριβώς ίσες; Δεν είναι καν σαφές το γιατί υπάρχουν θεμελιώδεις νόμοι εν γένει⁵. Μια συνηθισμένη απάντηση με τη μορφή ανεκδότη είναι ότι «ο Θεός είναι μαθηματικός». Συνηθισμένη ιδέα και διόλου εξυπηρετική, αφού αντικαθιστά βαθιά ερωτήματα με μια διπλά μη επιβεβαιώσιμη κατάφαση. Ωστόσο, εδώ και καιρό η Θεία Θέληση προτάσσεται ως δημοφιλής εξήγηση της αποτελεσματικότητας των εξισώσεων της επιστήμης. Αψευδής μάρτυρας η φράση που είναι χαραγμένη στην προτομή της πρώτης αμερικανίδας επαγγελματία αστρονόμου, Maria Mitchell (1818-89), στην Αίθουσα Διασημοτήτων του Μπρονξ: «Κάθε τύπος που εκφράζει ένα νόμο της φύσης είναι ένας δοξαστικός ύμνος στο Θεό», λέξεις γραμμένες από την ίδια τη Mitchell το 1866.

Ακόμα πιο ζόρικο από το ερώτημα για την προέλευση των επιστημονικών εξισώσεων είναι το ερώτημα αν οι εξισώσεις εφευρίσκονται ή ανακαλύπτονται⁶. Ο ινδοαμερικανός αστροφυσικός Subrahmanyan Chandrasekhar πιθανότατα μιλούσε εκ μέρους των περισσότερων μεγάλων θεωρητικών παρατηρώντας πως όταν ανακάλυπτε κάποιο νέο γεγονός ή είχε μια έμπνευση, αισθανόταν σαν να «...ήταν πάντα εκεί και εγώ έτυχε να το παρατηρήσω». Σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση, οι εξισώσεις που βρίσκονται πίσω από τις διαδικασίες του σύμπαντος κατά κάποιο τρόπο υπάρχουν «κάπου εκεί», ανεξαρτήτως από την ύπαρξη των ανθρώπων.

Οπότε οι επιστήμονες είναι κοσμικοί αρχαιολόγοι οι οποίοι προσπαθούν να ξεθάψουν νόμους που παραμένουν κρυμμένοι από την αυγή του χρόνου. Η προέλευση αυτών των νόμων παραμένει μυστηριώδης.

Από τις εκατοντάδες χιλιάδες επιστήμονες ερευνητές που έζησαν ποτέ, ελάχιστοι έχουν συνδέσει το όνομά τους με μια σημαντική επιστημονική εξίσωση. Δύο επιστήμονες που ήταν εξαιρετικά ικανοί στο να ανακαλύπτουν θεμελιώδεις εξισώσεις και ιδιαίτερα οξυδερκείς σχετικά με το ρόλο των μαθηματικών στην επιστήμη ήταν ο Albert Einstein και ο σχεδόν συγκρίσιμος σε ευφυΐα άγγλος θεωρητικός φυσικός, Paul Dirac. Κανείς τους δεν ήταν «καθαρός» μαθηματικός, ήταν όμως και οι δύο εντυπωσιακά επιδέξιοι στο να καταστρώνουν νέες εξισώσεις που ήταν τόσο γόνιμες, όσο και τα ωραιότερα ποιήματα. Και οι δυο είχαν ενστερνιστεί την πεποίθηση ότι οι μεγάλες εξισώσεις της φύσης οφείλουν να είναι ωραίες⁷.

Αυτό ίσως ακούγεται περίεργο. Η υποκειμενική θεώρηση της ομορφιάς δεν είναι ευπρόσδεκτη στους κύκλους των καλλιεργημένων διανοουμένων, και είναι βέβαιο ότι δεν έχει θέση στις ακαδημαϊκές κριτικές της υψηλής τέχνης⁸. Ωστόσο είναι μια λέξη που πρόθυμα ανεβάνει στα χείλη όλων μας –ακόμα και των πιο σχολαστικών κριτικών– όταν συγκινούμαστε από τη θέα ενός γελαστού μωρού, ενός συναρπαστικού ορεινού τοπίου, μιας εξάισια καλλιεργημένης ορχιδέας. Τι εννοεί όμως κανείς όταν λέει πως μια εξίσωση είναι ωραία⁹; Θεμελιακά, σημαίνει ότι η εξίσωση έχει τη δύναμη να προκαλέσει την ίδια έκσταση με άλλα πράγματα που πολλοί από μας περιγράφουν ως ωραία. Όπως και ένα σπουδαίο έργο τέχνης, μια ωραία εξίσωση περιλαμβάνει στα χαρακτηριστικά της κάτι πολύ περισσότερο από απλή ελκυστικότητα – έχει απλότητα, οικουμενικότητα, την αίσθηση του νομοτελειακού καθώς και μια πρωτόγονη δύναμη. Σκεφτείτε αριστουργήματα όπως το *Μήλα και Αχλάδια* του Cézanne, το γεωδαιτικό θόλο του Buckminster Fuller, την ερμηνεία της Λαίδης Μάκβεθ από την Judi Dench ή την ηχογράφιση της Ella Fitzgerald για το «Μανχάταν». Στην πρώτη μου επαφή με καθένα από αυτά τα αριστουργήματα, συνειδητοποίησα σχεδόν αυτόματα ότι βρισκόμουν μπροστά σε κάτι μνημειώδες στη σύλληψη, θεμελιακά άψογο, λυτρωμένο από κάθε υπερβολή και δημιουργημένο με τόση προσοχή, που η ισχύς του θα μειωνόταν αν άλλαζε στο παραμικρό.

Μια πρόσθετη ιδιότητα της καλής επιστημονικής εξίσωσης είναι ότι έχει λειτουργική ομορφιά. Πρέπει να περιλαμβάνει τα αποτελέσματα κάθε σχετικού πειράματος και, ακόμα καλύτερα, να κάνει προβλέψεις που κανείς άλλος δεν έχει κάνει ακόμα. Αυτή η όψη της αποτελεσματικότητας μιας εξίσωσης είναι συναφής με την ομορφιά μιας άρτια κατασκευασμένης μηχανής σαν αυτές για τις οποίες ακούμε στην ταινία *Full Metal Jacket* του Stanley Kubrick, όταν ο νεοσύλλεκτος πεζοναύτης Γκόμερ Πάιλ αρχίζει να μιλάει στο όπλο του. «Είσαι ωραίο», του φιθυρίζει. Ο ξετρελαμένος Πάιλ επαινεί τη σχολαστική κατασκευή του, απολαμβάνοντας τις ιδιότητες που το κάνουν απολύτως κατάλληλο για το θανάσιμο σκοπό του. Δεν θα ήταν τόσο ωραίο αν δεν λειτουργούσε.

Η έννοια της ομορφιάς ήταν ιδιαίτερα σημαντική για τον Einstein, το κατεξοχήν παράδειγμα επιστημονικού ωραιολάτρη του 20ού αιώνα. Σύμφωνα με τον με-

γαλύτερο γιο του Hans, «είχε ένα χαρακτήρα που προσιδιάζε πολύ περισσότερο σε αυτόν του καλλιτέχνη παρά του επιστήμονα όπως τους φανταζόμαστε συνήθως. Για παράδειγμα, ο υψηλότερος έπαινος που διατύπωνε για μια καλή θεωρία ή ένα καλό επίτευγμα, δεν ήταν ότι είναι “σωστό” ή “ακριβές”, αλλά ότι είναι “ωραίο”». Κάποτε, έφτασε να πει ότι «οι μοναδικές θεωρίες φυσικής που είμαστε διατεθειμένοι να δεχτούμε είναι αυτές που είναι ωραίες», θεωρώντας δεδομένο ότι μια καλή θεωρία πρέπει εντέλει να συμφωνεί με το πείραμα. Ο Dirac ήταν ακόμα πιο εμφαντικός από τον Einstein αναφορικά με την πεποίθηση ότι η μαθηματική ομορφιά αποτελεί απαραίτητο κριτήριο για την ποιότητα των θεμελιωδών θεωριών¹⁰. Είχε μάλιστα βεβαιώσει ότι στα μάτια του αποτελούσε «ένα είδος θρησκείας». Προς το τέλος της καριέρας του, αφιέρωσε αρκετό καιρό γυρνώντας τον κόσμο και δίνοντας διαλέξεις για την προέλευση της σπουδαίας εξίσωσης που φέρει το όνομά του, στις οποίες τόνιζε ανελλιπώς ότι η επιδίωξη της ομορφιάς υπήρξε πάντοτε ο πολιτικός του αστέρας και η πηγή της έμπνευσής του. Κατά τη διάρκεια ενός σεμιναρίου το 1955, όταν του ζητήθηκε να δώσει περιληπτικά τη φιλοσοφική του άποψη περί φυσικής, έγραψε στο μαυροπίνακα με κεφαλαία, «Οι φυσικοί νόμοι οφείλουν να έχουν μαθηματική ομορφιά».

Για τους κατώτερους θνητούς, ένας τέτοιος αισθητικός ελιτισμός αποτελεί ένα σκληρό και μη παραγωγικό πιστεύω. Για τους περισσότερους επιστήμονες, συνήθως, η ομορφιά δεν είναι ούτε μια έννοια που τους απασχολεί ούτε ένας εξυπηρετικός οδηγός για την καθημερινή δουλειά τους. Είναι αληθές ότι οι εξισώσεις που χρησιμοποιούν έχουν μια υπολανθάνουσα ομορφιά και οι σωστές λύσεις των εξισώσεων αυτών είναι πολύ πιθανότερο να είναι ωραίες παρά άσχημες. Ωστόσο η ομορφιά μπορεί να είναι παραπλανητική. Η επιστήμη είναι διάστικτη με τα υπολείμματα θεωριών που κάποτε θεωρήθηκαν ωραίες αλλά αποδείχτηκαν λανθασμένες – έξω δηλαδή απ’ ό,τι είχε κατά νου η φύση.

Το 1921 ο Einstein χαρακτήρισε ορθώς την καινούργια θεωρία του αστροφυσικού Arthur Eddington ως «ωραία αλλά από φυσικής απόψεως κενή περιεχομένου». Κάπου σαρανταπέντε χρόνια αργότερα, οι φυσικοί, στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν την πληθώρα των νέων υποατομικών σωματιδίων, έσπευσαν να τα εντάξουν σε μαθηματικές κατηγορίες οι περισσότερες από τις οποίες αποδείχθηκαν –παρά την επιφανειακή αισθητική τους αρτιότητα– τελείως άσχετες με τη φύση.

Για τους περισσότερους επιστήμονες που διερευνούν μια καινούργια θεωρία, το κυριότερο κριτήριο της αξιοπιστίας της είναι η συμφωνία της ή όχι με το πείραμα. Όπως παρατήρησε ο Einstein στο βιβλίο του *Ο κόσμος όπως τον βλέπω*, που κυκλοφόρησε το 1920, «το πείραμα εξακολουθεί να παραμένει βεβαίως το μοναδικό κριτήριο για τη χρησιμότητα στη φυσική μιας μαθηματικής κατασκευής».

Η ιδέα ότι η επιστήμη προοδεύει μέσω του συνδυασμού της μαθηματικής θεμελίωσης και της πειραματικής επαλήθευσης είναι σχετικά καινούργια. Γεννήθηκε στη Φλωρεντία μόλις 350 χρόνια πριν, σαν να λέμε χθες συγκριτικά με την έκταση της ανθρώπινης ιστορίας. Ο γεννήτορας ήταν ο Γαλιλαίος, ο πρώτος μοντέρνος

επιστήμονας, ο οποίος διείδε ότι η επιστήμη προοδεύει καλύτερα όταν εξετάζουμε μια περιορισμένη σειρά φαινομένων, και ότι τα αποτελέσματά της είναι νόμοι που μπορούν να περιγραφούν με σαφείς μαθηματικούς όρους¹¹. Αυτή ήταν μια από τις σπουδαιότερες και πιο παραγωγικές ανακαλύψεις στην ιστορία των ιδεών.

Από την εποχή του Γαλιλαίου, η επιστήμη έχει σταδιακά και σταθερά μαθηματικοποιηθεί. Οι εξισώσεις αποτελούν πλέον ένα ιδιαίζουσας σημασίας επιστημονικό εργαλείο. Οι περισσότεροι θεωρητικοί –ασφαλώς και οι περισσότεροι φυσικοί– πιστεύουν με φανατισμό ότι υπάρχει μια θεμελιώδης εξίσωση η οποία περιγράφει το φαινόμενο το οποίο μελετούν ή ότι κάποιος κάποτε θα βρει την κατάλληλη εξίσωση. Ωστόσο, όπως άρεσε στον Feynman να υποθέτει, μπορεί τελικά να αποδειχθεί ότι οι θεμελιώδεις νόμοι της φύσης δεν έχουν ανάγκη να εκφραστούν μαθηματικά και ότι εκφράζονται καλύτερα με άλλους τρόπους, σαν τους κανόνες που διέπουν μια παρτίδα σκάκι.

Προς το παρόν, φαίνεται πως οι εξισώσεις προσφέρουν τον πιο αποτελεσματικό τρόπο έκφρασης των περισσότερων θεμελιωδών νόμων. Δεν είναι όμως οι εξισώσεις η μέριμνα όλων των επιστημόνων, πολλοί από τους οποίους τα καταφέρνουν μια χαρά με μια στοιχειώδη μονάχα γνωριμία με τα μαθηματικά. Η ουσία εμπεριέχεται στο ανέκδοτο για ένα μαθηματικό, ένα φυσικό, ένα μηχανικό και ένα βιολόγο οι οποίοι ερωτώνται ξεχωριστά για την αριθμητική τιμή του π . Ο μαθηματικός απαντά ότι «ισούται με το πηλίκο της περιμέτρου ενός κύκλου προς τη διάμετρό του». Ο φυσικός απαντά ότι είναι «3,141593 συν ή πλην 0,000001». Ο μηχανικός λέει ότι είναι «περίπου 3». Τέλος, ο βιολόγος ρωτά, «Τι είναι το π ;»

Πρόκειται ασφαλώς για καρικατούρα. Κάποιοι φυσικοί ξέρουν αρκετά μαθηματικά, πολλοί μηχανικοί εφαρμόζουν με εξαιρετο τρόπο τα μαθηματικά στη δουλειά τους, και κάποιοι θεωρητικοί βιολόγοι είναι δεξιοτέχνες μαθηματικοί. Ωστόσο, όπως κάθε καρικατούρα, περιέχει αρκετά σπέρματα αλήθειας. Οι μηχανικοί τείνουν να αντιμετωπίζουν χρηστικά τα μαθηματικά και δίνουν μεγάλη βάση στο να κάνουν καλές προσεγγίσεις. Επίσης, από όλες τις επιστήμες, η φυσική είναι η περισσότερο και η βιολογία η λιγότερο μαθηματικοποιημένη. Από την εποχή του Γαλιλαίου, οι φυσικοί έχουν ευδοκιμήσει απλοποιώντας τα ζητήματα, διασπώντας τις πολυπλοκότητες της καθημερινής πραγματικότητας στα απλούστερα συστατικά στοιχεία τους. Μια τέτοια υπεραπλούστευση δεν είναι πάντα εφικτή για τους βιολόγους, των οποίων ο τομέας δράσης είναι ο απέραντα πολύπλοκος ζωντανός κόσμος, με τις αλληλοσχετιζόμενες κοινωνίες οργανισμών, καθώς και από τους οποίους έχει μια εξαιρετικά πολύπλοκη δομή σε μοριακό επίπεδο. Ας μην ξεχνάμε δε ότι η ενοποιητική θεωρία της βιολογίας είναι, επιφανειακά τουλάχιστον, μη μαθηματικοποιημένη. Η Καταγωγή των ειδών, η θεωρία του Δαρβίνου για την εξέλιξη μέσω της φυσικής επιλογής, δεν περιέχει ούτε μια εξίσωση. Το ίδιο αληθεύει για τη θεωρία των γεωλόγων σχετικά με την κίνηση των τεκτονικών πλακών, των οποίων οι πρώιμες εργασίες (που εκδόθηκαν μετά το τέλος του Α΄ Παγκόσμιου Πολέμου) ήταν ουσιαστικά πεδίο ελεύθερο από εξισώσεις.

Τρεις από τις μεγάλες συνεισφορές του Einstein (συμπεριλαμβανομένων της $E = mc^2$ και της εξίσωσής του για τη γενική θεωρία της σχετικότητας) γίνονται

αντικείμενο συζήτησης. Υπάρχουν επίσης αναφορές σε άλλες σημαντικές εξισώσεις που μας έχουν οδηγήσει στη σημερινή κατανόηση του υποατομικού κόσμου. Η εξίσωση του Dirac κατέχει ξεχωριστή θέση: όχι μόνο έκανε το χρέος της να εξηγήσει τη συμπεριφορά του ηλεκτρονίου, αλλά προέβλεψε απροσδόκητα και την ίδια την ύπαρξη της αντιψύλης, η οποία αποτελούσε κάποτε το μισό σύμπαν. Δεν αποτελεί έκπληξη που ο Dirac σχολίασε, «Η εξίσωσή μου είναι εξυπνότερη από μένα».

Οι εξισώσεις της υποατομικής φυσικής αποτελούν το Πρότυπο Μοντέλο, όπως είναι το πεζό όνομα της τρέχουσας θεωρίας για τα θεμελιώδη σωματίδια και τις αλληλεπιδράσεις τους (που αφήνει κατά μέρος τη γνωστότερη δύναμη, τη βαρύτητα, η οποία είναι κατά ειρωνικό τρόπο πέρα από την εμβέλεια του μοντέλου). Ο επίλογος του βιβλίου συλλέγει τα νήματα που συνεισέφεραν στο Μοντέλο, που είναι ένας από τους θριάμβους της διανόησης του 20ού αιώνα.

Δύο δοκίμια εξετάζουν μερικές από τις εξισώσεις της σύγχρονης βιολογίας. Το πρώτο εξηγεί πώς οι εξελικτικές ιδέες είναι δυνατόν να εκφραστούν μαθηματικά ώστε να δώσουν πλούσια ενόραση για το ζωντανό κόσμο, από τη συμπεριφορά του ζευγαρώματος του κόκκινου ελαφιού μέχρι την αναλογία αρσενικών και θηλυκών στις κοινότητες των σφηκών. Το δεύτερο δοκίμιο αφορά την αποκαλούμενη τετραγωνική απεικόνιση, μια απατηλά απλή εξίσωση της θεωρητικής οικολογίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει κατανοητή η διακύμανση του πληθυσμού των φαριών σε μια λίμνη και των αγριόγαλων σε ένα έλος, καθώς και ένα μεγάλο σύνολο παρόμοιων προβλημάτων. Αυτή η εξίσωση έπαιξε κρίσιμο ρόλο στην ιστορία του χάους, διότι αποδείχτηκε ότι ενσωματώνει εντυπωσιακά τη χαοτική συμπεριφορά – συμπεριφορά εξαιρετικά ευαίσθητη στις αρχικές συνθήκες. Χάρη σ' αυτή την εξίσωση, που είναι τόσο απλή ώστε να διδάσκεται στα παιδιά του σχολείου, οι επιστήμονες της δεκαετίας του '70 αντιλήφθηκαν την αναποτελεσματικότητα ορισμένων συναρτήσεων να προβλέπουν το μέλλον σε αναφορά με το παρελθόν.

Δυο άλλες εξισώσεις που περιγράφονται εδώ αφορούν την επιστήμη της πληροφορίας και την αναζήτηση εξωγήινης νοημοσύνης. Το δοκίμιο για την επιστήμη της πληροφορίας αναφέρεται στις εξισώσεις του πρύτανη των θεωρητικών της πληροφορικής, Claude Shannon, που υπήρξε ο σκαπανέας του μαθηματικού μηχανισμού που βρίσκεται πίσω από την τηλεπικοινωνιακή επανάσταση. Οι εξισώσεις του Shannon εφαρμόζονται σε κάθε είδους μετάδοση πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένων του Internet, του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης.

Η αναζήτηση εξωγήινης νοημοσύνης (SETI) είναι ενδεχομένως ένα θέμα για το οποίο δεν θα περιμένατε να υπάρχει εξίσωση. Πώς είναι δυνατόν να υπάρχει εξίσωση για κάτι που μπορεί και να μην υφίσταται; Η απάντηση είναι ότι η εξίσωση-κλειδί του SETI – η οποία καταστρώθηκε από τον αμερικανό αστρονόμο Frank Drake – δεν κάνει προβλέψεις: θα έλεγε κανείς ότι πειθαρχεί τους συλλογισμούς μας για την πιθανότητα ύπαρξης πολιτισμών που να μπορούν να επικοινωνήσουν μαζί μας. Μια εξίσωση ωραία όχι με την έννοια που αντιλαμβάνονταν ο Einstein και ο Dirac, παρόλο που ο τύπος του Drake έχει επιφέρει κάποια συνοχή σε ένα πεδίο εν δυνάμει απολύτως ασαφές.

Οι μαθηματικές εξισώσεις δεν είναι το μοναδικό είδος εξισώσεων που χρησι-

μποιούν οι επιστήμονες. Οι χημικοί, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν εξισώσεις οι οποίες δεν είναι γραμμένες εξ ολοκλήρου με τη λογική των μαθηματικών συμβόλων, αλλά με τη λογική των γραμμάτων που αναπαριστούν άτομα, μόρια και τους υπομικροσκοπικούς συγγενείς τους. Τεράστιο ποσοστό της βιομηχανικής δραστηριότητας βασίζεται σε τέτοιες χημικές εξισώσεις, καθεμία από τις οποίες περιγράφει μια αλληλεπίδραση της οποίας οι λεπτομέρειες μπορούν να εξαχθούν συμπερασματικά, αλλά σχεδόν ποτέ να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι. Έχουμε επιλέξει ένα ιδιαίτερο σύνολο χημικών αντιδράσεων για να συμπεριληφθούν εδώ και να εκπροσωπήσουν τη δύναμη του χημικού σκεπτικού. Αυτές οι θαυμαστά απλές εξισώσεις δημιούργησαν τη βάση της επιστημονικής κατανόησης της καταστροφής του στρώματος του όζοντος και των αιτιών της, την παρουσία χημικών ουσιών γνωστών σαν CFCs στην ατμόσφαιρα της Γης. Στις αρχές της δεκαετίας του '80, αυτές οι απλές εξισώσεις βοήθησαν να αφυπνιστεί η συνείδηση της ανθρωπότητας για την επικείμενη περιβαλλοντική αποκάλυψη.

Οι συγγραφείς αυτού του βιβλίου είναι ηγετικές μορφές στην επιστήμη, ιστορικοί και συγγραφείς. Έχουν στρέψει την προσοχή τους προς εκείνη την όψη της εξίσωσής τους –τα νοητικά στρώματα του Larkin– που τους φαίνεται πιο ενδιαφέρουσα, αποφεύγοντας κατά το δυνατόν τις κουραστικές μαθηματικές λεπτομέρειες. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο μοναδικά προσωπικών ενδοσκοπήσεων πάνω σε κάποιες από τις γονιμότερες εξισώσεις της σύγχρονης επιστήμης, εξισώσεις οι οποίες μέσω της περιεκτικότητας, της δύναμης και της θεμελιώδους απλότητάς τους μπορούν να θεωρηθούν ως κάποια από τα ωραιότερα ποιήματα του 20ού αιώνα.

Ανάμεσα στην προσωπική μου συλλογή ποιημάτων, στο ράφι πάνω από το γραφείο μου, βρίσκεται και ένα αντίτυπο του *High Windows* δίχως ίχνος σκόνης πάνω του. Το πρωτοδιάβασα όταν ήμουν ένας άβγαλτος σπουδαστής υποατομικής φυσικής, πασχίζοντας να καταλάβω τις θεμελιώδεις εξισώσεις του και να εκτιμήσω την ομορφιά τους. Τη συλλογή μου χάρισε μια φίλη, μεγάλη θαυμάστρια του Larkin, φοιτήτρια αγγλικής φιλολογίας, λίγες μέρες αφού εκδόθηκε. Η αφιέρωση που μου έκανε ήταν η ίδια με τη δική μου σ' εσάς: «Απολαύστε τα κρεμμύδια».

Graham Farmelo
Αύγουστος 2001

Σημειώσεις του συγγραφέα

1. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε μια αναλογία ανάμεσα στην επιστημονική εξίσωση και το ποίημα. Ο Seamus Heaney επισημαίνει στην εισαγωγή του *Beowulf* ότι αυτό το σημαντικό ποίημα «ανταποκρίνεται πλήρως στη σύγχρονη αντίληψη για ένα έργο δημιουργικής φαντασίας ως ενός χώρου όπου αντιφατικές πραγματικότητες συμβιβάζονται στο πλαίσιο μιας νέας τάξης» (Faber & Faber, 1999, σελ. xvii). Κάτι ανάλογο θα μπορούσαμε να πούμε και για μια εξίσωση: Συμβιβάζει, στο πλαίσιο της «νέας τάξης της», τις φαινομενικά ετερόκλητες ποσότητες που συμπεριλαμβάνει.

2. Μια σύντομη και διεισδυτική ανάλυση της μορφής του Einstein ως σύγχρονου ειδόλου (που συμπεριλαμβάνει και ορισμένα σχόλια για την $E = mc^2$) περιλαμβάνεται στο δοκίμιο του Roland Barthes «Ο εγκέφαλος του Einstein» στη συλλογή *Mythologies*, Seuil - Points, 1957, ελλ. εκδ. Ράππας, 1979.

3. Περισσότερα σχετικά περιέχονται στο δοκίμιο «Poetry and science» του τσέχου ποιητή και ανοσολόγου Miroslav Holub, στο *The Dimension of the Present Moment*, Λονδίνο, Faber & Faber, 1990, σελ. 132-133.

Αξιόλογες επίσης είναι και οι προσωπικές σκέψεις της ποιήτριας Lavinia Greenlaw: «Unstable regions: poetry and science» στο *Cultural Babbage*, επιμ. Francis Spufford & Jenny Uglow, Λονδίνο, Faber and Faber, 1996.

4. Richard Feynman, *The Character of Physical Law*, Λονδίνο, Penguin, 1992, σελ. 35-36.

5. Eugene Wigner, «The unreasonable effectiveness of mathematics», *Communications on Pure and Applied Mathematics*, τ. 13, 1960, σελ. 1-14.

6. Αυτή η πολυσυζητημένη ερώτηση αναπτύσσεται με σαφήνεια στο John Barrow, *The Universe that Discovered Itself*, Oxford University Press, 2000, Κεφάλαιο 5.

7. Αρκετοί κορυφαίοι θεωρητικοί φυσικοί έχουν γράψει για τη σημασία της ομορφιάς στο αντικείμενό τους. Βλ.

- Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory*, Random House, 1993. Ελλ. εκδ. Όνειρα για μια Τελική Θεωρία, εκδ. Κάτοπτρο, Κεφάλαιο 6.
- Subrahmanyan Chandrasekhar, *Truth and Beauty: Aesthetics and Motivations in Science*, University of Chicago Press, 1987.
- Chen Ning Yang, «Beauty in theoretical physics» στο *The Aesthetic Dimension of Science*, επιμ. Deane W. Curtin, Νέα Υόρκη, Philosophical Library, 1980.

8. Ωστόσο ο μεταμοντέρνος κριτικός της αρχιτεκτονικής Charles Jencks στο άρθρο του «What is beauty?», *Prospect*, Αύγουστος/Σεπτέμβριος 2001, σελ. 22-27, δηλώνει: «Η ομορφιά επέστρεψε».

9. Μια αναλυτική διαπραγμάτευση της έννοιας της ομορφιάς στην επιστήμη περιλαμβάνεται στο James W. McAllister, *Beauty and Revolution in Science*, Cornell University Press, 1996.

10. Ο Dirac διατυπώνει τις θέσεις και πεποιθήσεις του για την αισθητική στο «Pretty mathematics», *International Journal of Theoretical Physics*, τ. 21, 8/9 (1982), σελ. 603-05.

11. Στο *Il Saggiatore* (1623), έγραψε: «[Το Σύμπαν] δεν είναι δυνατόν να διαβαστεί αν δεν μάθουμε τη γλώσσα του και δεν εξοικειωθούμε με τους χαρακτήρες με τους οποίους είναι γραμμένο. Είναι γραμμένο στη μαθηματική γλώσσα». Ως συνήθως, ο Πλάτων υπήρξε ο πρώτος διδάξας. Έγραψε: «ο κόσμος είναι η επιστολή του Θεού προς την ανθρωπότητα» και ότι «είναι γραμμένη με μαθηματικούς χαρακτήρες». Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Γαλιλαίος και οι άλλοι ιδρυτές της σύγχρονης φυσικής, δεν έγραφαν εξισώσεις αλλά αναλογίες. Ωστόσο, κατά κάποιο τρόπο, αυτές οι αναλογίες είναι ισοδύναμες με εξισώσεις. Αρκετές δεκαετίες αργότερα οι εξισώσεις κέρδισαν την προτίμηση ως μέσο μαθηματικής έκφρασης. Βλ. I. Bernard Cohen, *Revolution in Science*, Harvard University Press, 1985, σελ. 139-140.

Σημείωση του μεταφραστή

I. Η επίσημη γλώσσα του Πακιστάν.