

Φιλοσοφία και Θετικές Επιστήμες στον 20ό αιώνα



ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΟΡΦΩΤΙΚΕΣ ΕΚΔΗΛΩΣΕΙΣ

Στο πλαίσιο του προγράμματος των Ειδικών Μορφωτικών Εκδηλώσεων “ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΑ”, το ΕΙΕ διοργανώνει κύκλους ομιλιών, με στόχο την παρουσίαση των σύγχρονων επιστημονικών επιτευγμάτων στον χώρο τόσο των θετικών όσο και των ανθρωπιστικών επιστημών, καθώς και την προβολή του κοινωνικού χαρακτήρα της επιστημονικής έρευνας.

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ
ΣΤΟΝ 20^Ο ΑΙΩΝΑ

ISBN: 960-7998-23-5

© Copyright 2004, ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΕΡΕΥΝΩΝ (ΕΙΕ)

Υπεύθυνη του Προγράμματος των Ειδικών Μορφωτικών Εκδηλώσεων
«ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΑ» και

επιμέλεια έκδοσης: Ελένη Γραμματικοπούλου

Τηλ.: 210 72 73 501, Fax: 210 72 46 618, e-mail: gramma@eie.gr

Σχεδίαση, παραγωγή:

S&P ADVERTISING

Ασκληπιού 154, 114 71 Αθήνα

Τηλ.: 210 64 62 716, Fax: 210 64 52 570

e-mail: central@spad.gr, www.spad.gr

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ
ΣΤΟΝ 20^Ο ΑΙΩΝΑ



ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΟΡΦΩΤΙΚΕΣ ΕΚΔΗΛΩΣΕΙΣ



Το Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, συνεχίζοντας την παράδοση της προσφοράς και της συμβολής στην ανάπτυξη της πνευματικής ζωής του τόπου μας, οργάνωσε τις καθιερωμένες πλέον Ειδικές Μορφωτικές Εκδηλώσεις «ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΟΙΝΩΝΙΑ» και κατά την περίοδο 2002-2003.

Η παρουσίαση των σύγχρονων επιστημονικών επιτευγμάτων στον χώρο τόσο των θετικών όσο και των ανθρωπιστικών επιστημών, καθώς και η προβολή του κοινωνικού χαρακτήρα της επιστημονικής έρευνας εξακολουθούν να αποτελούν, κατά μείζονα λόγο, τα καθοδηγητικά κριτήρια και τον στόχο των διαλέξεων που εντάσσονται στο Μορφωτικό Πρόγραμμα του ΕΙΕ.

Με βάση αυτές τις προϋποθέσεις και λαμβάνοντας υπόψη τη ραγδαία ανάπτυξη των Θετικών Επιστημών στον 20ό αιώνα, θεωρήθηκε σκόπιμο να περιληφθεί στο πρόγραμμα αυτής της περιόδου ένας κύκλος με τον γενικό τίτλο: «ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΟΝ 20ό ΑΙΩΝΑ».

Στον παρόντα τόμο περιλαμβάνονται τα κείμενα των εννέα ομιλητών που έλαβαν μέρος στον κύκλο αυτό, στόχος του οποίου ήταν να αναδείξει κατά πόσον οι θεαματικές εξελίξεις που σημειώθηκαν στον χώρο των Θετικών Επιστημών, κυρίως κατά τον 20ό αιώνα, έχουν επηρεάσει την ευρύτερη φιλοσοφική σκέψη αλλά και την ειδικότερη αντίληψη για τη ζωή και τη σχέση της με το σύμπαν.

Στις πέντε ομιλίες έγινε μια εκτενής αναφορά στις σύγχρονες θεωρίες των Θετικών Επιστημών (Κβαντική Θεωρία, Θεωρία του Χάους, Θεωρία της Δομής της Ύλης, κ.ά.). Επίσης στις Επιστήμες Ζωής, τις Βιολογικές επιστήμες, παρουσιάστηκαν τα σύγχρονα επιτεύγματα της Γενετικής και τα νέα διλήμματα –βιοηθικά και φιλοσοφικά–, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή τους. Ο κύκλος ολοκληρώθηκε με το στρογγυλό τραπέζι: Η Φιλοσοφία συναντά τις Θετικές Επιστήμες στον 20ό Αιώνα με αντικείμενο τις συνέπειες των επιτευγμάτων των Θετικών Επιστημών και τον σύγχρονο φιλοσοφικό στοχασμό που γεννούν.

Στο τέλος των ομιλιών, οι οποίες έγιναν στο Αμφιθέατρο «Λεωνίδας Ζέρβας» του ΕΙΕ κατά το διάστημα από 8 έως 28 Ιανουαρίου 2003, ακολουθούσε διαλογική συζήτηση μεταξύ ομιλητών και κοινού.

Το Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών επιθυμεί και από τη θέση αυτή να ευχαριστήσει τους ομιλητές και όλους όσοι συνετέλεσαν στην πραγματοποίηση της παρούσας σειράς των ομιλιών. Ειδικότερα, τον Δρ. Ευστ. Γκόνο, Διευθυντή Ερευνών στο Ινστιτούτο Βιολογικών Ερευνών και Βιοτεχνολογίας του Ιδρύματος, για τη συμμετοχή του και την πολύτιμη συμβολή του στον σχεδιασμό του κύκλου αυτού.

Ελένη Γραμματικοπούλου
Υπεύθυνη του Προγράμματος
των Ειδικών Μορφωτικών Εκδηλώσεων
«Επιστήμης Κοινωνία»

Περιεχόμενα

8 Ιανουαρίου 2003

Αριστείδης Μαυρίδης

Ο ρόλος της συμμετρίας στην επιστήμη και την τέχνη 9

Ιωάννης Νίκολης

Τοπολογία & δυναμική πολυπλόκων συστημάτων 29

14 Ιανουαρίου 2003

Γιώργος Θηραΐος

Γονιδιακός ντετερμινισμός: κίνδυνος για την επιστήμη και την κοινωνία 45

Ευστάθιος Γκόνος

Γενετική τύχη ή εξελικτική αναγκαιότητα; 61

21 Ιανουαρίου 2003

Ίων Σιώτης

Η αναζήτηση του «ελαχίστου» της ύλης από τον Λεύκιππο μέχρι σήμερα 71

28 Ιανουαρίου 2003

Στρογγυλό Τραπέζι

Η Φιλοσοφία συναντά τις Θετικές Επιστήμες στον 20ό αιώνα 97

Συμμετέχουν οι: Αριστείδης Μπαλτάς,
Διονύσιος Αναπολιπάνος,
Στέφανος Ροζάνης,
Στάθης Ψύλλος

Ο ρόλος της συμμετρίας στην επιστήμη και την τέχνη

Αριστείδης Μαυρίδης

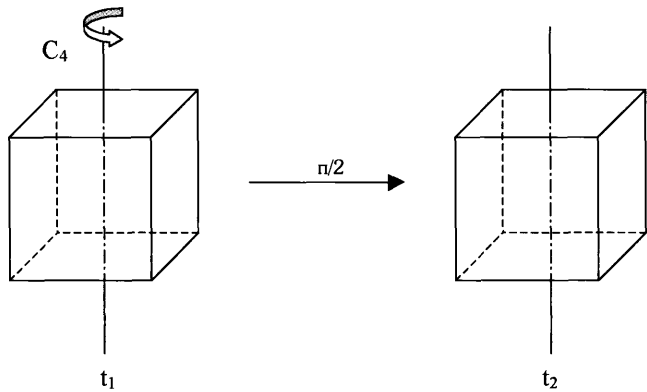
*Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
Τμήμα Χημείας, Εργαστήριο Φυσικοχημείας*

Εξ αρχής θα πρέπει emphaticώς να υπογραμμίσω ότι το αντικείμενο αυτής της διαλέξεως είναι όντως ευρύτατο και, δεδομένων των χρονικών ορίων, θα περιορισθώ σε ορισμένες «απλές» έννοιες: του τι σημαίνει συμμετρία και του ρόλου της στη ζωή μας. Επειδή συνδέομαι με την Επιστήμη, τα παραδείγματά μου καθώς και η εν γένει γραμμή της ομιλίας θα είναι πλησιέστερα στη Χημεία ή/και τη Φυσική παρά προς την Τέχνη. Η αδυναμία μου αυτή ελπίζω να κριθεί επεικώς.

Ίσως ο τίτλος της διαλέξεως θα έπρεπε να είναι απλώς «Συμμετρία». Η λέξη συμμετρία (συν+μέτρο) είναι πολύ γνωστή, χρησιμοποιείται ευρέως αλλά κρύβει μια εσωτερική, εγγενή πολυπλοκότητα. Τις περισσότερες φορές όταν μιλάμε για συμμετρία εννοούμε είτε σωστές αναλογίες είτε κάτι αρμονικό είτε πάλι σύνθεση μερών με σύμμετρο ή αρμονικό τρόπο, ή ακόμη και τάξη, η οποία είναι το αντίθετο του χάους, ή τέλος αναφερόμαστε σε ομορφιά και τελειότητα. Συνήθως κάτι το οποίο είναι μη-συμμετρικό δεν είναι ούτε όμορφο, στερείται μορφής. Όλες αυτές τις ερμηνείες της λέξεως συμμετρία, μπορείτε να τις βρείτε σε οιοδήποτε λεξικό ελληνικό ή ξένο. Ας προσπαθήσουμε όμως τώρα να γίνουμε σαφέστεροι, πιο ποσοτικοί.

Ουσιαστικώς συμμετρία σημαίνει α-μεταβλητότητα (invariance, indiscernibility) ως προς κάποια πράξη, η οποία με τη σειρά της καλείται πράξη συμμετρίας. Ας δούμε ένα παράδειγμα από την απλούστερη των συμμετριών, τη γεωμετρική συμμετρία.

Θεωρούμε έναν τέλειο (α-ψεγάδιαστο) κύβο. Παρατηρητής, τη χρονική στιγμή t_1 , παρατηρεί τον κύβο και ακολούθως αποστρέφει το βλέμμα του. Κάποιος άλλος στρέφει τον κύβο περί άξονα (συμμετρίας) κατά $\pi/2 = 90^\circ$, (σχ. 1).



Σχ. 1. Στροφή κύβου
περί άξονος 4ης
τάξεως, C_4

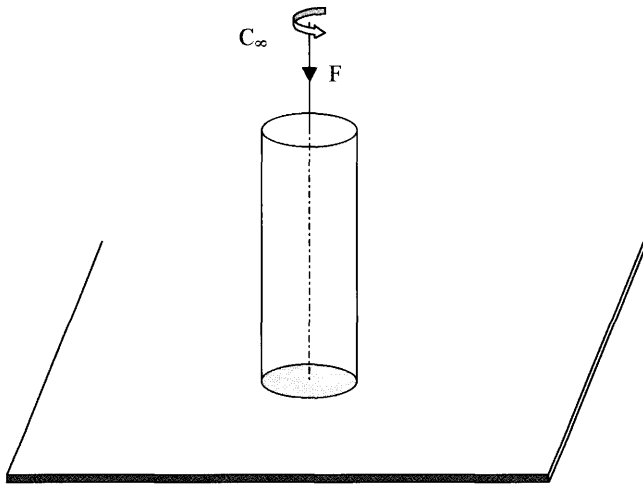
Ο πρώτος παρατηρητής επιστρέφει το βλέμμα του στον κύβο και παρατηρεί ότι τίποτα δεν άλλαξε στον κύβο μεταξύ των δύο χρονικών στιγμών t_1 και t_2 , πριν και μετά την περιστροφή αντιστοίχως. Γι'αυτόν η πράξη της περιστροφής είναι ως μη γενομένη (αμεταβλητότητα του στερεού). Το ίδιο ακριβώς θα συνέβαινε εάν ο κύβος είχε περιστραφεί κατά $\pi (=180^\circ)$, ή $3\pi/2 (=270^\circ)$ (άξων 4ης τάξεως= C_4). Ως προς τον παρατηρητή θα ήταν τελείως αδιάφορο.

Η ιδιότητα αυτή του κύβου, δηλαδή της αμεταβλητότητας ως προς κάποια πράξη, εδώ ως προς άξονα περιστροφής C_4 , καλείται **συμμετρία** (ως προς άξονα βεβαίως).

Αν και η διαδικασία την οποία περιγράψαμε μας φαίνεται προφανής, άρα τετριμμένη, οι συνέπειες της συμμετρίας στην ερμηνεία των φυσικών φαινομέ-

νων είναι τεράστιες και ο ρόλος της πολύ σημαντικός. Θεμελιώδεις φυσικοί νόμοι –όπως, παραδείγματος χάριν η διατήρηση της ενεργείας, της ορμής, της στροφορμής, της μάζας κ.ά.– είναι αποτέλεσμα αμεταβλητότητας (συμμετρίας) ως προς την αντίστοιχη πράξη, όχι απαραίτητα γεωμετρικού χαρακτήρα.

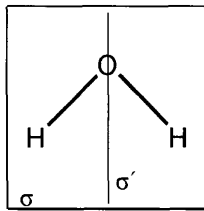
Ας εξετάσουμε ακόμη ένα απλό παράδειγμα γεωμετρικής συμμετρίας. Θεωρούμε μεταλλική κυλινδρική ράβδο ορισμένης διατομής, με άξονα συμμετρίας τον άξονα της ράβδου, απείρου τάξεως (C_∞). Αυτό σημαίνει ότι η ράβδος παρουσιάζει αμεταβλητότητα ως προς κάθε γωνία περιστροφής περί τον άξονά της. Η ράβδος τοποθετείται καθέτως επί ασυμπίεστου επιπέδου επιφάνειας στο άνω άκρο της οποίας εφαρμόζεται δύναμη F συγγραμμική προς τον άξονα συμμετρίας (σχ. 2).



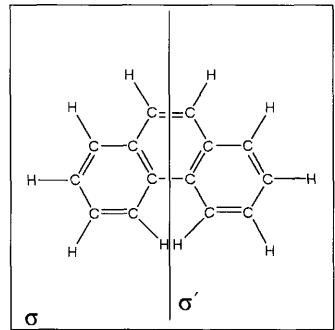
Σχ. 2. Κυλινδρική ράβδος επί άκαμπτου επιπέδου επιφάνειας. Η δύναμη F ασκείται συγγραμμικά προς τον άξονα C_∞

Το ερώτημα είναι: αυξάνοντας τη δύναμη F απεριόριστα, η ράβδος θα καμφθεί; Η εμπειρία λέει πως ναι, η ράβδος θα καμφθεί όταν η δύναμη F γίνει αρκετά μεγάλη. Η θεωρητική απάντησις όμως είναι αρνητική, εάν όντως η ράβδος διαθέτει απόλυτη αξονική συμμετρία (της F συμπεριλαμβανομένης). Η ράβδος μπορεί να συμπεσθεί (συνθλιβεί) διατηρώντας τον άξονα συμμετρίας απείρου τάξεως (C_∞), αλλά δεν θα καμφθεί διότι η συμμετρία διατηρείται. Το ότι τελικώς κάμπεται οφείλεται σε κάποια άρση («σπάσιμο») της εξωτερικής ή εσωτερικής συμμετρίας λόγω δομικών ατελειών.

Για προφανείς λόγους η γεωμετρική συμμετρία είναι η πλέον κατανοητή –ήδη αναφερθήκαμε στην αξονική συμμετρία, δηλαδή την ως προς περιστροφή αμεταβλητότητα. Ας εξετάσουμε τώρα την αμεταβλητότητα ως προς επίπεδο (σ), δηλαδή τη συμμετρία επιπέδου. Όλα τα επίπεδα σχήματα έχουν τουλάχιστον ένα επίπεδο συμμετρίας, το επίπεδο επί του οποίου κείνται. Στο σχήμα 3 απεικονίζονται το μόριο του ύδατος (H_2O , Σχ. 3α), του φαινανθρενίου (σχ. 3β) και τα ελληνικά γράμματα Α, Ε και Ζ.

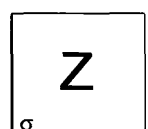
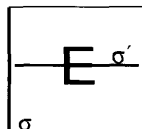
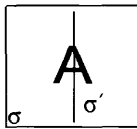


(α)



(β)

Σχ. 3. Επίπεδα γεωμετρικά σχήματα, σ , επίπεδο επί του οποίου κείται το σχήμα (ή μόριο), σ' το ίχνος επιπέδου συμμετρίας καθέτου επί του σ .

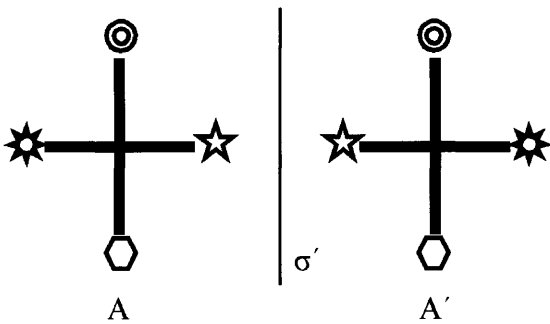


Το μόριο του ύδατος έχει δύο επίπεδα συμμετρίας (ένα προφανώς έχουν όλα τα τριατομικά μόρια), τα σ και σ' , το δεύτερο κάθετο επί του σ (σχ. 3α). Το ίδιο και το πολύ πιο πολύπλοκο μόριο του φαινανθρενίου (σχ. 3β). Τα γράμματα Α και Ε έχουν δύο επίπεδα συμμετρίας –τα σ και σ' –, δεν συμβαίνει το ίδιο όμως με το γράμμα Ζ το οποίο σπείρειται του επιπέδου σ' . Τα επίπεδα συμμετρίας ονομάζονται και επίπεδα ανακλάσεως. Παρατηρούμε ότι η ανάκλασις ως προς το επίπεδο ανακλάσεως σ' δημιουργεί το άλλο ήμισυ του σχήματος, δηλαδή η γνώση της μισής δομής αρκεί για την κατασκευή ολοκλήρου του σχήματος. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι, εάν αντικαταστήσουμε π.χ. στο μόριο του ύδατος το ένα από τα δύο υδρογόνα (H) με δευτέριο (βαρύ

υδρογόνο, D), το κατοπτρικό επίπεδο σ' παύει να υπάρχει, το σ όμως παραμένει. Θα δούμε ακολούθως τη σημασία των επιπέδων συμμετρίας.

Όπως ήδη αναφέρθη, η αμεταβλητότητα ως προς κάποια πράξη είναι η θεμελιώδης έννοια της συμμετρίας. Εάν καλέσουμε Σ την πράξη (ή «τελεστή», τέλεση της πράξης) και A το αντικείμενο (ή συνάρτηση) επί του οποίου δρα ο τελεστής Σ , τότε, η αμεταβλητότητα εκφράζεται μαθηματικώς με τη σχέση:

$$\begin{aligned} \Sigma A &= A\Sigma \quad \text{ή} \quad \Sigma A - A\Sigma = 0 \\ \text{ή} \quad [\Sigma, A] &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$



Σχ. 4. Ασύμμετρο επίπεδο σχήμα A και το κατοπτρικό του A' ως προς το κάτοπτρο σ' .

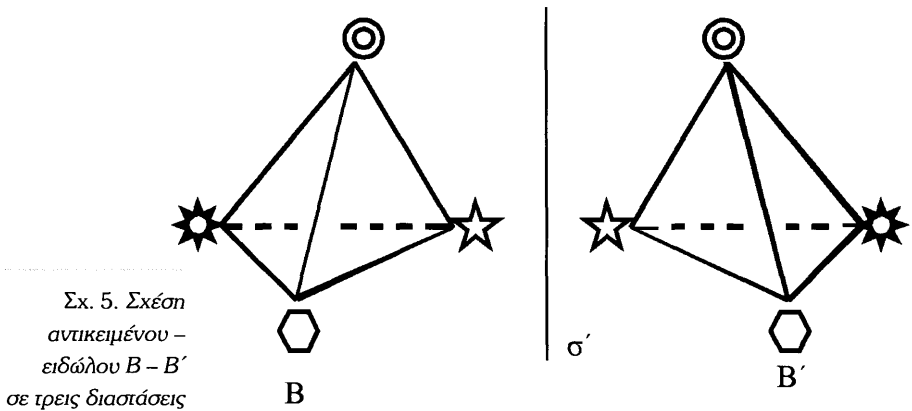
Η σχέση (1) μας λέει ότι τα Σ και A μετατίθενται: ο «μεταθέτης» $[,]$ έχει κεντρική θέση στην εννοιολογία των φυσικών επιστημών, ακριβώς διότι εκφράζει την ύπαρξη ή μη κάποιας συμμετρίας.

Ας εξετάσουμε τώρα ένα επίπεδο αντικείμενο (στον χώρο των 2 διαστάσεων) το οποίο στερείται επιπέδου συμμετρίας σ' (προφανώς δεν υπάρχει κανένα στοιχείο συμμετρίας), δεν υπάρχει δηλαδή τρόπος να επιλέξουμε κάποιο μισό μέρος του αντικειμένου και δι' ανακλάσεως να δημιουργήσουμε το υπόλοιπο, δηλαδή το μισό μέρος του να φέρει την πληροφορία αναπαραγωγής του υπολοίπου. Στο σχήμα 4 απεικονίζεται τυπικώς ένα τέτοιο αντικείμενο (οποιοδήποτε επίπεδο «τυχαίο» σχήμα) A , και το κατοπτρικό του A' ως προς επίπεδο σ' το οποίο όμως δεν είναι επίπεδο συμμετρίας.

Τα A και A' δεν είναι υπερθέσιμα στον χώρο των 2 διαστάσεων. Οι οποιοδήποτε μετακινήσεις –επί παραδείγματι του A' επί του επιπέδου–, δηλαδή

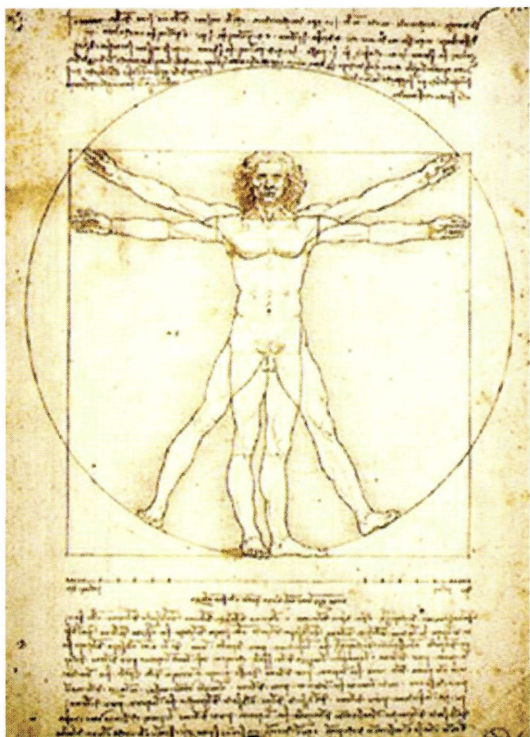
μεταφορές ή/και περιστροφές, δεν είναι ικανές να κάνουν τα δύο σχήματα να συμπέσουν το ένα επί του άλλου. Η σχέση αντικειμένου-ειδώλου των $A-A'$ καλείται **σχέση χειρομορφισμού**, τα δε αντικείμενα, **χειρόμορφα** (σχέση αριστερού και δεξιού χειριού).

Ας μετακινηθούμε τώρα στον φυσικό χώρο των 3 διαστάσεων. Σε πλήρη αναλογία με το σχήμα 4 έχουμε το σχήμα 5, αλλά ένα από τα τέσσερα «σημεία», έστω το \odot , βρίσκεται εκτός του επιπέδου το οποίο ορίζεται από τα υπόλοιπα τρία (\star , \square , \star).



Τα B και B' ως χειρόμορφα είναι αδύνατον να τοποθετηθούν το ένα επί του άλλου ώστε να συμπέσουν, η υπέρθεσις δεν είναι εφικτή [εκτός κι εάν το ένα από τα χειρόμορφα αντικείμενα μεταφερθεί στον χώρο των 4 διαστάσεων, περιστραφεί καταλλήλως και επαναφερθεί στον χώρο των 3 διαστάσεων. Αυτό φαίνεται σαφώς στον χώρο των 2 διαστάσεων (σχ. 4)]. Η σημασία της γεωμετρικής συμμετρίας και ο ρόλος της, π.χ. στην ανάπτυξη των εννοιών της Χημείας, είναι δύσκολο να υποτιμηθεί: θα επανέλθουμε σε λίγο σε αυτό.

Θα αναφερθούμε τώρα πολύ σύντομα στο είδος των γεωμετρικών συμμετριών του περιβάλλοντός μας, αλλά και πέραν αυτού. Ο πλανήτης Γη αλλά και κάθε πλανήτης είναι πρακτικώς σφαιρικού σχήματος, έχει τη μεγίστη δυνατή συμμετρία (γεωμετρική συμμετρία σφαίρας: απειρία αξόνων περιστροφής οποιασδήποτε τάξεως, απειρία επιπέδων συμμετρίας και κέντρο συμμετρίας). Αυτό είναι



Σχ. 6. Το ανθρώπινο σώμα έχει (εξωτερικώς) αμφίπλευρη συμμετρία (σ' κατοπτρικό επίπεδο, κάθετη επί του επιπέδου απεικόνισης).

αποτέλεσμα της ισοτροπίας του χώρου (όλες οι κατευθύνσεις είναι ισοδύναμες) και του νόμου της βαρυτικής έλξης του Newton (δυναμικό αντιστρόφως ανάλογο της απόστασεως, $\Phi \sim -1/r$), ο οποίος έχει εγγενώς σφαιρική συμμετρία.

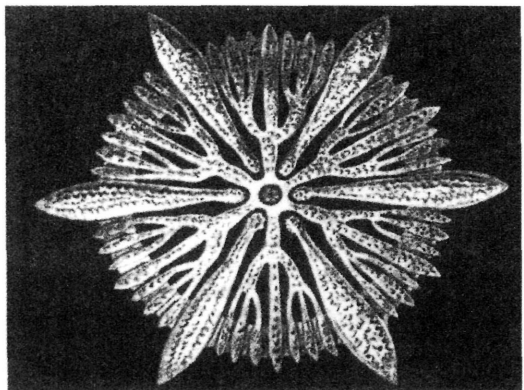
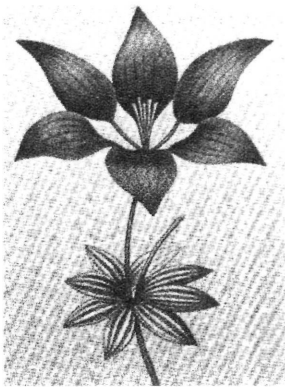
Το ανθρώπινο σώμα έχει, περίπου κατοπτρικό επίπεδο συμμετρίας ή αμφίπλευρη εξωτερική συμμετρία (σχ. 6), στερείται όμως εσωτερικής συμμετρίας, π.χ. σχεδόν όλοι οι άνθρωποι έχουν την καρδιά αριστερά όχι στο μέσον του σώματός τους. Η εσωτερική μας ασυμμετρία είναι αυτή η οποία νοηματοδοτεί τις διευθύνσεις, αριστερά/δεξιά. Εάν η εξωτερική αμφίπλευρη συμμετρία επεκτεινόταν και στο εσωτερικό του ανθρωπίνου σώματος, η διαφοροποίηση των κατευθύνσεων αριστερά/δεξιά θα ήταν πολύ δύσκολη.

Εάν π.χ. σε κάποιο άτομο που βρίσκεται πολύ μακριά από εμάς και σε ισότροπο περιβάλλον, στην έρημο λόγου χάρη ή σε κάποιον άγνωστο πλανήτη,

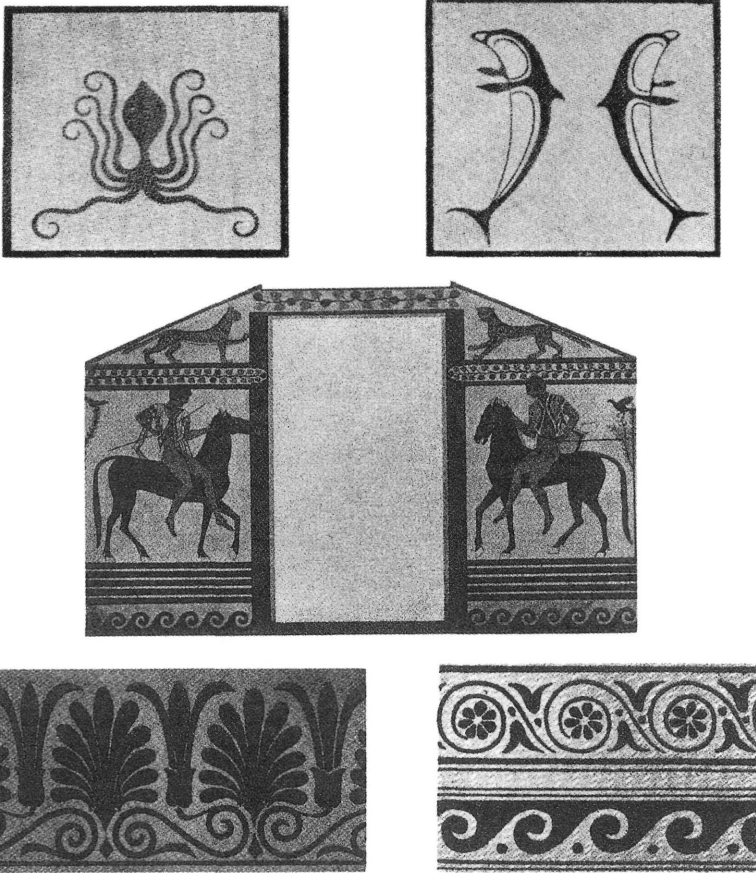
αναφέρετε τη λέξη «δεξιά», αντιλαμβάνεται αμέσως ότι η διεύθυνσις αυτή είναι η αντίθετη της καρδιάς. Η εσωτερική αυτή ασυμμετρία, η οποία εκτείνεται και στον εγκέφαλο, εκδηλώνεται στην ικανότητα την οποία έχουν οι περισσότεροι άνθρωποι (σε ποσοστό περίπου 90%) να χρησιμοποιούν με πολύ μεγαλύτερη ευκολία το δεξί χέρι τους παρά το αριστερό. Άτομα με την αυτή λειτουργική ικανότητα και στα δύο χέρια είναι σπάνια, ίσως ανύπαρκτα.

Στη φύση, η συμμετρία των εμβίων όντων είναι εντυπωσιακή. Ό,τι κι αν παρατηρήσουμε γύρω μας είναι περίπου συμμετρικό: Τα δέντρα έχουν κυλινδρική (αξονική) συμμετρία, φύλλα και ζώα διαθέτουν λίγο-πολύ αμφίπλευρη συμμετρία, τα θαλάσσια ζώα έχουν επίσης αμφίπλευρη συμμετρία ή και πολύ υψηλότερες συμμετρίες (σχ. 7). Η αξονική συμμετρία είναι αποτέλεσμα του πεδίου βαρύτητας το οποίο αίρει («σπάει») την ομοιογένεια και ισοτροπία του τρισδιάστατου χώρου ως προς την κατακόρυφη κατεύθυνση, η δε αμφίπλευρη συμμετρία την ομοιογένεια και ισοτροπία του χώρου ως προς την οριζόντια διεύθυνση. Εάν υπάρχει ζωή σε άλλους πλανήτες, τα όντα αυτά πρέπει να έχουν την αυτή περίπου τοπολογία με τα αντίστοιχα γήινα όντα.

Τα ανθρώπινα κατασκευάσματα σπανίως σπερούνται συμμετρίας, η αρχιτεκτονική μας είναι σχεδόν πάντα σύμμετρη, σχεδόν πάντοτε θα διαπιστώσουμε



Σχ. 7. Οργανισμοί με άξονα συμμετρίας βής τάξεως.



Σχ. 8. Μοτίβα τα οποία χαρακτηρίζονται από κατοπτρική συμμετρία και συμμετρία μεταφοράς.

την ύπαρξη στοιχείων συμμετρίας [(συνήθως κατοπτρική συμμετρία, συμμετρία μεταφοράς και ίσως κέντρων συμμετρίας (σχ. 8)].

Αυτό που συνήθως ονομάζεται αρμονία νομίζω ότι αντανακλά κάποια αμεταβλητότητα. Οι άνθρωποι φαίνεται ότι δεν ανέχονται καθολικές ασυμμετρίες. Καλούμε όμορφο σχεδόν πάντα αυτό το οποίο είναι συμμετρικό, η υψηλή δε συμμετρία πολλές φορές εντυπωσιάζει. Οι έννοιες της συμμετρίας, ομορφιάς,

αισθητικής, αρμονίας, κομψότητας διέπουν τους χώρους της τέχνης, της επιστήμης και αγγίζουν τα μαθηματικά. Ίσως, αυτό που αποκαλείται μοντέρνα τέχνη να χαρακτηρίζεται από έλλειψη στοιχείων συμμετρίας. Ο καλλιτέχνης προσδοκεί να εκφράσει πιθανόν κάποια εσωτερικότητα, η οποία στερείται της καθαρής γεωμετρικής συμμετρίας του έξω κόσμου. Παραδείγματος χάριν, η φοβερή ασυμμετρία της *Γκουέρνικα* του Picasso μας αφήνει άφωνους, δεν ξέρουμε τι να σκεφτούμε. Στη νοερή προσπάθειά μας να συνδέσουμε τα κομμάτια της, προκαλείται μια αγωνία, κι ίσως αυτό να ήθελε να προβάλλει ο καλλιτέχνης: την εσωτερική του αγωνία που δεν θα μπορούσε να εκφρασθεί μέσω συμμετρικών (αρμονικών) δομών.

Θα αναφερθώ σε ένα άλλο έργο του ίδιου ζωγράφου, το “*Los demoiselles d’ Avignon*” (σχ. 9).

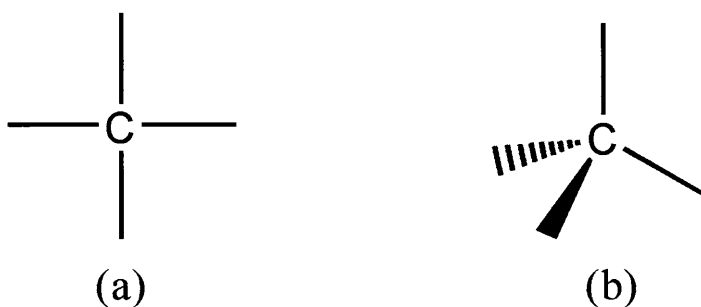


Σχ. 9.
Πάμπλο Πικάσο,
Οι Δεσποινίδες της
Αβινιόν.

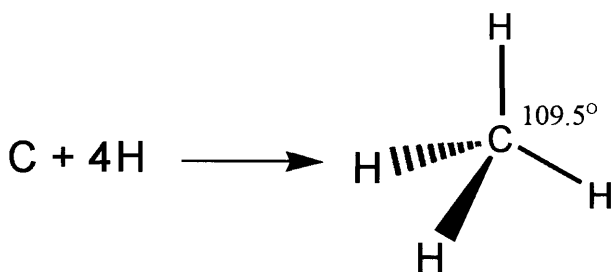
Γυναικεία πρόσωπα στρεβλωμένα, μάσκες φρικτές από τις οποίες απουσιάζει η αμφίπλευρη συμμετρία των φυσικών προσώπων. Ο καλλιτέχνης επέλεξε τη δραματική αυτή άρση της συμμετρίας που προκαλεί ρίγος. Αντιλαμβάνομαστε το ρίγος που προκαλείται, εάν μεταφερθούμε από τον χώρο της τέχνης –όπου θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε τις άρσεις της συμμετρίας ως μηνύματα αγωνίας ή θολών και ασαφών καταστάσεων του υποσυνειδήτου– στον πραγματικό καθημερινό χώρο. Η άρση της συμμετρίας στο ανθρώπινο σώμα, η κοινώς λεγόμενη τερατογένεση, μόνον έργο τέχνης δεν μπορεί να θεωρηθεί. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της θαλιδομίδης, φαρμάκου που χορηγήτο στις εγκύους περί τα τέλη της δεκαετίας του '50. Στην περίπτωση αυτή η κατοπρική συμμετρία των μορίων έπαιξε τραγικό ρόλο (*vide infra*).

Ας εξετάσουμε τώρα τον ρόλο της συμμετρίας στο μοριακό επίπεδο. Το 1874 ο Ολλανδός Jacobus Henricus van't Hoff και ο Γάλλος Joseph Achille Le Bell, αλλά κυρίως ο πρώτος, εισηγούνται ότι τα τέσσερα «σθένη» του ατόμου του άνθρακος είναι διατεταγμένα στον τρισδιάστατο χώρο κι όχι στο επίπεδο, και μάλιστα τετραεδρικώς (σχ. 10).

Η πρόταση van't Hoff-Le Bell έγινε ώστε να αρθούν τα άλτα ως τότε προβλήματα δομικής ασυνεπείας των μορίων. Ας εξετάσουμε κάπως λεπτομερέ-



Σχ.10. (α) Επίπεδο άτομο άνθρακος, πριν το 1874. (β) Τετραεδρικό άτομο άνθρακος, μετά το 1874. (Οι απλές γραμμές είναι στο αυτό επίπεδο, η σφηνοειδής έντονη είναι εκτός επιπέδου και προς το μέρος του αναγνώστη και η σφηνοειδής διακεκομμένη γραμμή είναι εκτός επιπέδου και απομακρυνόμενη από τον αναγνώστη).

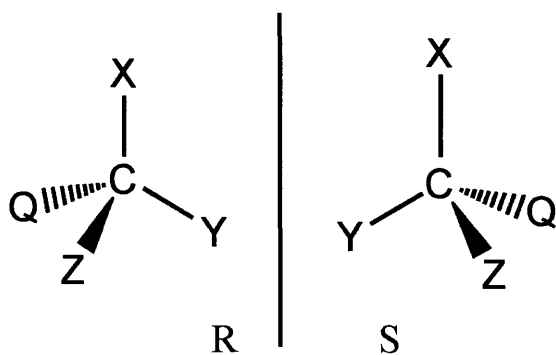


Σχ. 11. Σχηματισμός του μορίου του μεθανίου.

στερα την πρόταση van't Hoff-Le Bell, η οποία απεδείχθη σωστή, καθώς και τις συνέπειές της.

Το απλούστερο χημικώς σταθερό μόριο της οργανικής χημείας είναι το μεθάνιο: Τέσσερα άτομα υδρογόνου (H) συνδεδεμένα με ένα άτομο άνθρακα (C), CH₄, (σχ. 11) [η ομάδα συμμετρίας στην οποία ανήκει το CH₄ είναι αυτή του κανονικού τετραέδρου, ή T_d, με 24 πράξεις αμεταβλητότητας και είναι ίδια με αυτή του κύβου, βλ. (σχ. 1)].

Εάν τώρα αντικαταστήσουμε τα 4 υδρογόνα με διαφορετικά μεταξύ τους άτομα ή ομάδες ατόμων, το μόριο που προκύπτει εξακολουθεί να είναι τρισδιάστατο αλλά χάνει τη συμμετρία του κανονικού τετραέδρου: στην πραγματικότητα δεν έχει κανένα στοιχείο συμμετρίας. Συμβαίνει δε ένα αξιοσημείωτο γεγονός: οι τέσσερις διαφορετικοί υποκαταστάτες δημιουργούν δύο διαφορετικές γεωμετρικές κατανομές με σχέση αντικειμένου-ειδώλου (σχ. 5), αποτέλεσμα του τρισδιάστατου χώρου (σχ. 12).



Σχ. 12. Σχέση εναντιομόρφων (χειρομορφικών) μορίων. Το S είναι οπτικός αναντίπους του R ή και αντιστρόφως.

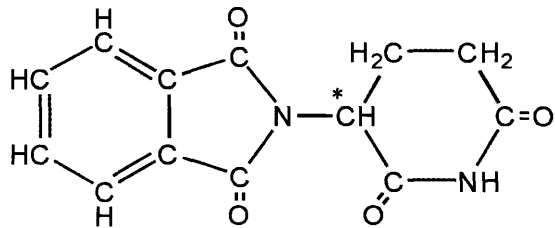
Αυτή η συμμετρία (ή ασυμμετρία) αντικειμένου-ειδώλου (R-S) έχει τεράστια σημασία. Τα δύο μόρια [C(XYZQ)] αν και «ίδια» είναι τελείως διαφορετικά! Η διαφορά τους είναι, όπως προαναφέρθη, η κατοπτρική κατανομή των υποκαταστατών X, Y, Z και Q στον χώρο, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η υπέρθεση του S επί του R. Τέτοιου είδους μόρια καλούνται **εναντιομερή** ή **εναντιόμορφα** ή **χειρόμορφα** ή οπτικοί αντίποδες (*vide supra* Σκ. 5), και εάν το ένα χαρακτηριστεί ως R (ή +, ή D) το άλλο θα είναι S (ή -, ή L). Πού διαφέρουν επομένως τα εναντιομερή; Η γεωμετρία τους είναι ακριβώς η ίδια, η κατανομή φορτίου ακριβώς η ίδια, τα φάσματά τους (υπερύθρου, ορατού-υπεριώδους, μαγνητικά, κ.λπ.) ακριβώς τα ίδια, έχουν το ίδιο σημείο τήξεως, ζέσεως ή εξαχνώσεως, κ.λπ. Πού διαφέρουν τελικώς; Οι διαφορές τους, συχνά σημαντικές, εκδηλώνονται στις ασύμμετρες αλληλεπιδράσεις με άλλα ασύμμετρα μόρια ή γενικότερα με το περιβάλλον τους. Ας γίνουμε λίγο σαφέστεροι: Εναντιόμορφα μόρια, R ή S, στρέφουν, για παράδειγμα το επίπεδο του γραμμικώς πολωμένου φωτός, ιδιότητα την οποία στερούνται μόρια με επίπεδα ή κέντρο συμμετρίας ή ένα ισομοριακό μείγμα εναντιομόρφων μορίων (ρακεμικό μείγμα). Δηλαδή, μονοχρωματικό γραμμικώς πολωμένο φως («ασύμμετρο» φως, ή «εναντιόμορφο φως», ή φωτόνια ορισμένης «ελικότητας» χαρακτήρα, έστω R_φ), το οποίο διέρχεται διά μέσου διαλύματος ή τήγματος ή κρυστάλλου ουσίας R (ή S) στρέφει το επίπεδο πολώσεως κατά ορισμένη γωνία. Εάν λόγου χάρη η ουσία τύπου R στρέφει το επίπεδο πολώσεως αριστερόστροφα κατά γωνία θ , υπό τις ίδιες ακριβώς συνθήκες ο οπτικός αντίποδας S θα στρέφει το επίπεδο πολώσεως επίσης κατά γωνία θ , αλλά δεξιόστροφα. Η στροφή του επιπέδου πολώσεως του φωτός είναι αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεως δύο α-συμμετρικών οντοτήτων, του πολωμένου φωτός (R_φ) και του μορίου (R). Σχηματικώς, η αλληλεπίδρασις του αντίποδος R-φωτός μπορεί να παρασταθεί ως R^*R_φ και του αντίποδα S ως S^*R_φ , και επειδή η αλληλεπίδρασις δεν είναι η ίδια, η γωνία στροφής είναι αλγεβρικώς αντίθετη.

Βεβαίως, η αλληλεπίδρασις με ασύμμετρο φως δεν είναι η ουσιαστική διαφορά μεταξύ εναντιομερών μορίων, είναι όμως χαρακτηριστική και υποδεικνύει τις αρχές. Οι διαφορές είναι εντυπωσιακές και αποκτούν πολύ μεγάλη πρα-

κτική σημασία στη βιολογική δράση ασυμμέτρων μορίων, π.χ. φαρμάκων στους έμβιους οργανισμούς. Κι αυτό διότι το μοριακό υπόστρωμα των εμβίων όντων είναι χειρόμορφο. Παραδείγματος χάριν, η ουσία D-πενικιλλαμίνη χρησιμοποιείται ως θεραπευτική αγωγή στην ασθένεια του Wilson, στην κυστινουρία και στη ρευματοειδή αρθρίτιδα. Ο οπικός της αντίποδας L όχι μόνον δεν δρα ευεργετικά, αλλά είναι και επικίνδυνος. Το εναντιομερές φαρμάκου εναντίον της φυματιώσεως, της εθαμβουτόλης, μπορεί να προκαλέσει τύφλωση. Στο σημείο αυτό είναι ενδιαφέρον να αναφερθούμε λεπτομερέστερα στην περίπτωση του φαρμάκου της θαλιδομίδης (*vide supra*).

Ο μοριακός τύπος της ουσίας αυτής παρίσταται στο σχήμα 13, αποτελείται δε από άτομα οξυγόνου (O), αζώτου (N), άνθρακος (C) και υδρογόνου (H).

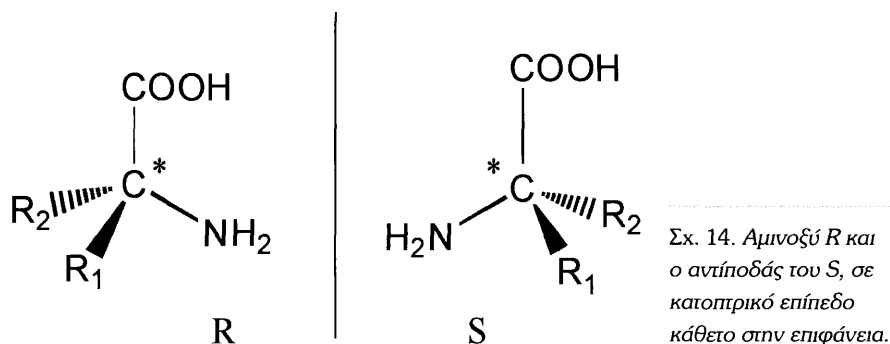
Εάν και το μόριο παρίσταται ως επίπεδο στο σχήμα 13, δεν είναι διότι ο δεξιός δακτύλιος είναι τρισδιάστατος κι η παρουσία του ασυμμέτρου ατόμου άνθρακος (C*) δημιουργεί δύο οπικούς αντίποδες, R και S. Όπως ήδη αναφέρθη η θαλιδομίδα άρχισε να χορηγείται στις εγκύους διότι επιστεύετο ότι είχε κάποια ευεργετικά αποτελέσματα. Μεταξύ των ετών 1959-1961, οκτώ χιλιάδες βρέφη, στην Αγγλία τα περισσότερα αλλά και στην τότε Δυτική Γερμανία, γεννήθηκαν με παραμορφωμένα άκρα ή καθόλου άκρα, γνωστή ασθένεια που ονομάζεται **φωκομελία**. Το πολύ ενδιαφέρον είναι ότι οι καταστροφικές ιδιότητες της θαλιδομίδης οφείλονται, στο ότι το φάρμακο χορηγείτο στη ρακεμική του μορφή, δηλαδή ως ισομοριακό μίγμα R και S. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα δύο εναντιομερή παρουσιάζουν πολύ μεγάλες διαφορές: ο ένας αντίποδας είναι αβλαβής ή και ελαφρώς ευεργετικός, ο άλλος αιτία τερατογενέσεων.



Σχ.13. Το μόριο της θαλιδομίδης

Το ίδιο συμβαίνει και με άλλες φυσιολογικές ιδιότητες των χειρομόρφων μορίων. Εάν ο ένας αντίποδας είναι γλυκός, ο άλλος μπορεί να είναι λιγότερο γλυκός, άγευστος ή και πικρός, ο ένας να έχει ευχάριστη οσμή και ο άλλος να είναι άοσμος ή εξαιρετικά δύσοσμος. Είναι σαφές ότι ο τρόπος κατά τον οποίο οι χημικές ενώσεις δρουν πάνω στους οργανισμούς καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη συμμετρία των χημικών ενώσεων αλλά και τη συμμετρία των μορίων του οργανισμού με τα οποία αλληλεπιδρούν. Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε πολύ σύντομα στις δομικές μοριακές μονάδες των οργανισμών.

Σχεδόν τα πάντα σ' έναν οργανισμό αποτελούνται από πρωτεΐνες, δηλαδή πολύπλοκα μεγαλομόρια (φυσικά πολυμερή) αποτελούμενα από απλούστερα μόρια τα οποία ονομάζονται αμινοξέα. Οι πρωτεΐνες των ανωτέρων οργανισμών αποτελούνται από είκοσι (20) μόνον αμινοξέα. Τα τελευταία είναι ενώσεις του τύπου $CR_1R_2(COOH)(NH_2)$, όπως απεικονίζονται στο σχήμα 14.



Σχ. 14. Αμινοξύ R και ο αντίποδάς του S, σε κατοπτρικό επίπεδο κάθετο στην επιφάνεια.

Δηλαδή ένα κεντρικό άτομο άνθρακος (C^*) συνδεδεμένο με τέσσερις διαφορετικούς υποκαταστάτες (σχ. 5 και σχ. 12), δύο εκ των οποίων ($-COOH$, $-NH_2$) είναι πάντοτε οι ίδιοι σε όλα τα αμινοξέα και δύο ακόμη (R_1 και $R_2 \neq -COOH, -NH_2$) σχεδόν πάντοτε διαφορετικοί μεταξύ τους. Ήδη, γνωρίζουμε (σχ. 12) ότι ένα άτομο άνθρακος με τέσσερις διαφορετικούς υποκαταστάτες παρέχει τη δυνατότητα υπάρξεως δύο αντιπόδων, των R και S, και όντως έτσι είναι. Το περίεργο όμως είναι ότι όλοι οι ανώτεροι οργανισμοί αποτελούνται από πρωτεΐνες, τα αμινοξέα των οποίων είναι τύπου S και μόνον, δηλαδή του

ενός οπτικού αντίποδα ορισμένης στερεοδομής. Οι συνέπειες αυτής της ιδιομορφίας είναι πολύ μεγάλες, είναι αδύνατον όμως να αναφερθούμε εδώ στον θαυμαστό ρόλο των ιδιομορφιών αυτών. Η δράσις των φαρμάκων την οποία προηγουμένως θίξαμε είναι άμεση απόρροια της γεωμετρικής δομής των S αμινοξέων και των αντιστοίχων πρωτεϊνών. Θα ήθελα μόνον να προσθέσω τα εξής: Τίποτα δεν φαίνεται ότι θα άλλαζε εάν οι πρωτεΐνες μας αποτελούντο από αμινοξέα τύπου R κι όχι S· όλα θα ήταν τα ίδια. Δεν θα ήταν δυνατόν όμως οι πρωτεΐνες των ανωτέρων οργανισμών να αποτελούνται από τυχαία μίγματα R και S αμινοξέων, κι αυτό είναι απολύτως κατανοητό. Το μεγάλο όμως ερώτημα είναι γιατί οι πρωτεΐνες αποτελούνται μόνο από S κι όχι μόνον από R αμινοξέα και πώς αυτό συνέβη στο ξεκίνημα της ζωής αρκετά εκατομμύρια χρόνια πριν. Τι ήταν αυτό που υπαγόρευσε τελικώς την προτίμηση του S αμινοξικού αλφαβήτου αντί του R; Ήταν τυχαίο; Αυτή τη στιγμή κανείς δεν γνωρίζει, η απάντησις μπορεί να είναι βαθιά θαμμένη στις συμμετρίες των στοιχειωδών σωματιδίων και των ασθενών αλληλεπιδράσεων ή ακόμη και στην «ανθρωπική αρχή», αν και η τελευταία δεν μπορεί να θεωρηθεί ως «πραγματική» (πρώτων αρχών) εξήγησις.

Θα ήθελα τώρα να αναφερθώ στη σχέση (1), στον μεταθέτη δηλαδή $[S, A] = [A, S]$. Εάν θεωρήσω τα A και S ως αριθμούς, π.χ. 4 και 12, είναι προφανές ότι $[4, 12] = 4 \times 12 - 12 \times 4 = 0$. Εν γένει όμως, και επειδή τα S και A δεν είναι αριθμοί ή συναρτήσεις, $S * A \neq A * S$, όπου * κάποια πράξις, δεν έχουμε αμεταβλητότητα. Αυτό είναι προφανές εάν σκεφτούμε κάποιες καθημερινές μας πράξεις: σχεδόν ποτέ δύο πράξεις μας δεν μετατίθενται. Η διαδοχή των πράξεων είναι κεφαλαιώδους σημασίας: Διαφέρει πολύ εάν βάλετε πρώτα τις κάλτσες και μετά τα παπούτσια ή το αντίθετο, το πουκάμισο πρώτα και μετά το σακάκι ή το αντίθετο, εάν παίξετε στο χρηματιστήριο τη χρονική στιγμή t_1 και κατόπιν πουλήσετε τις μετοχές σας ή το αντίθετο. Το ίδιο συμβαίνει με τις «πράξεις» της φύσεως και τους θεμελιώδεις νόμους. Άρα, εν γένει, ο μεταθέτης $[S, A] \neq 0$. Στις ελάχιστες όμως περιπτώσεις, όπου $[S, A] = 0$, οι περιπτώσεις αυτές είναι πολύ σημαντικές για την κατανόηση των φυσικών νόμων. Ο δε μηδενισμός διαφόρων μεταθετών είναι αποτέλεσμα ειδικών συμμετριών. Στην κλασική (νευτώνεια) μηχανική αλλά και στην Κβαντική Μηχανική ή σε κάθε δυναμική

της νεότερης Φυσικής, ορισμένα μεγέθη διατηρούνται σταθερά, δηλαδή δεν μεταβάλλονται συναρτήσει του χρόνου και ονομάζονται σταθερές κινήσεως (ή απλώς σταθερές ή κβαντικοί αριθμοί). Ο ρόλος τέτοιων μεγεθών βρίσκεται στα θεμέλια των φυσικών νόμων. Τέτοια μεγέθη, όπως ήδη αναφέρθη, είναι η ενέργεια, η ορμή, η στροφορμή, η μάζα, το φορτίο, η ομοτιμία (parity), και άλλα αναλόγως του συστήματος και του κατά πόσον οι συμμετρίες είναι τέλειες ή προσεγγιστικές. Το γιατί διατηρούνται ορισμένα μεγέθη σε τελευταία ανάλυση δεν είναι γνωστό, ίσως δεν έχει και νόημα το τελικό γιατί, αλλά κάθε διατηρητέο μέγεθος είναι αποτέλεσμα κάποιας αντίστοιχης συμμετρίας ή αμεταβλητότητας και του μηδενισμού του αντιστοίχου μεταθέτη. Επί παραδείγματι, η διατήρηση της ενεργείας είναι αποτέλεσμα αμεταβλητότητας ως προς τον χρόνο, της στροφορμής ως προς την περιστροφή (ισοτροπία), της ορμής ως προς τη μεταφορά στον συνήθη καρτεσιανό χώρο (ομοιογένεια), ενώ η διατήρηση της μάζας είναι αποτέλεσμα ειδικής συμμετρίας, η οποία εκφράζεται μέσω του κανόνα της υπερ-επιλογής, κ.ο.κ.

Όπως ήδη ειπώθηκε, οι διάφορες συμμετρίες δεν μας εξηγούν το γιατί διατηρούνται κάποια μεγέθη, αλλά βοηθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων, αυξάνουν την προβλεπτική ισχύ της θεωρίας και εν γένει καθιστούν το θεωρητικό οικοδόμημα απλούστερο, άρα ομορφότερο. Ίσως αυτό ακριβώς είναι και η τελική εξήγηση του γιατί συμβαίνει κάτι, διότι ο κομψός φορμαλισμός οδηγεί στις πλέον αρμονικές (συμμετρικές) εξισώσεις. Εδώ βεβαίως έχουμε τη λανθάνουσα παραδοχή ότι η φύση, τα φυσικά φαινόμενα, είναι δυνατόν να κατανοηθούν και να ελεγχθούν με μαθηματικό τρόπο, μια πολύ παλιά εικασία ισομορφίας φυσικών νόμων και μαθηματικών εκφράσεων, και δη όμορφων μαθηματικών εκφράσεων. Ο πολύ γνωστός στη θεωρία των αριθμών Βρετανός μαθηματικός G. H. Hardy, στο θαυμάσιο βιβλίο του *A mathematician's apology*, γράφει:

«Οι μαθηματικές απεικονίσεις (patterns) πρέπει να είναι όμορφες, οι ιδέες, όπως ακριβώς τα χρώματα και οι λέξεις, πρέπει να συναρμολογούνται μεταξύ τους με αρμονικό τρόπο. Η ομορφιά είναι η πρώτη δοκιμή, δεν υπάρχει χώρος στον κόσμο για δύσμορφα (ugly) μαθηματικά».

Ο επίσης Βρετανός φυσικός P. A. M. Dirac, ένας από τους κορυφαίους του 20ού αιώνας, σε ομιλία του στη Βασιλική Ακαδημία της Ιρλανδίας [Proc. Roy. Irish Acad. 63A, 49-59 (1962-1963)], κλείνοντας τη διάλεξή του λέει:

«Μπορούμε να προσπαθήσουμε να προοδεύσουμε (στη Φυσική) ακολουθώντας τα βήματα του Hamilton, θεωρώντας ως οδηγό μας τη μαθηματική ομορφιά και δημιουργώντας κατ' αρχάς ενδιαφέρουσες θεωρίες κρίνοντας μόνον την ομορφιά των μαθηματικών τους. Μπορούμε έτσι να ελπίζουμε ότι τέτοιου είδους εξισώσεις θα αποδειχθούν αξιολογες στη Φυσική, βασίζοντας αυτή την ελπίδα στην πίστη ότι η φύση απαιτεί στους νόμους της μαθηματική ομορφιά».

Σε άρθρο του περί ομορφιάς και αναζήτησης της ομορφιάς στην επιστήμη, ο μεγάλος Ινδός φυσικός S. Chandrasekhar (Physics Today, Ιούλιος 1979, σ. 25) αναφέρει ότι: «Τέτοιες σχέσεις

$$\int_0^{\infty} dx e^{-3\pi x^2} \frac{\sinh \pi x}{\sinh 3\pi x} = \frac{1}{e^{2\pi} \sqrt{3}} \sum_{n=0}^{\infty} e^{-2n(n+1)\pi} (1 + e^{-\pi})^{-2} \cdot (1 + e^{-3\pi})^{-2} \cdot (1 + e^{-5\pi})^{-2} \dots \left[1 + e^{-(2n+1)\pi} \right]^{-2}$$

μου προκαλούν ακριβώς την ίδια συγκίνηση την οποία νιώθω όταν βλέπω την ομορφιά των παραστάσεων του Michelangelo στον τάφο των Μεδίκων Giuliano και Lorenzo, οι οποίες απεικονίζουν τη Νύχτα, την Ημέρα, το Σούρουπο και την Αυγή».

Αναφέρθηκα περισσότερο στην κατοπτρική ή αμφίπλευρη συμμετρία η οποία είναι και η πλέον ανθρωπομορφική. Συμμετρίες πιο αφηρημένες στην τέχνη, δηλαδή που πλησιάζουν τη μαθηματική σκέψη, δημιούργησε ο Ολλανδός χαράκτης M. C. Escher (1898-1971). Είναι οντως κάτι το εκπληκτικό, η συμμετρία διέπει πέρα ως πέρα το έργο του Escher (σχ. 15). Ο ίδιος δεν είχε γνώσεις μαθηματικών αλλά φαίνεται πως είχε επηρεαστεί από τον αδερφό του, ο οποίος είχε σχέση με την κρυσταλλογραφία. Ο περιορισμένος χρόνος δεν μου επιτρέπει να συζητήσω για το έργο του Escher, όμως ομολογώ ότι υποκλίνομαι στη μεγαλειώδη γεωμετρική φαντασία του χαράκτη.



Σχ. 15. Χαρακτικά του Ολλανδού χαράκτη M.C. Escher
(α) Ιππείς (1946), (β) Λωρίδα Μοebius (1963)

ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

H. Weyl, *Symmetry*, Princeton University Press, 1952.

A. V. Shubnikov and V. A. Koptsik, *Symmetry in Science and Art*, Plenum Press, 1974.

E. P. Wigner, *Symmetries and Reflections*, Indiana University Press, 1967.

M. Gardner, *The Amphidextrous Universe*, Charles Scribner's and Sons, 1979.

The Graphic Work of M. C. Escher, Ballantine Books, 1973.

Τοπολογία και δυναμική πολυπλόκων συστημάτων

Ι. Σ. Νίκολης

Καθηγητής Πανεπιστημίου



ιαδίκτυο, WWW, δίκτυο αλληλεπιδρώντων υποσπρωμάτων και αλληλεπιδρωσών πρωτεϊνών στο κύτταρο, δίκτυο αλληλεπιδρωσών λέξεων στη φυσική γλώσσα, δίκτυο αλληλεπιδρώντων νευρώνων και ιστών στο νευρικό σύστημα, οικολογικά δίκτυα, επιδημιολογικά δίκτυα, κοινωνικά (ή αντικοινωνικά!) δίκτυα, δίκτυα συμβολικών αλληλεπιδράσεων και τέλος δίκτυα συνυπαρχουσών μνημών-συνυπαρχόντων ελκυστών στο κεντρικό νευρικό σύστημα.*

ΣΥΝΟΨΙΣ

Θα αναφερθούν εκτενώς πρόοδοι της τελευταίας πενταετίας στη μοντελοποίηση (ερμηνεία) πολυπλόκων συστημάτων ανηκόντων στο μεσοσκοπικό επίπεδο (βιολογικά συστήματα και τεχνολογικοί «επίγονοι»). Οι πρόοδοι αυτοί

* Σημ. Ο κ. Νίκολης μας έδωσε μια σύνοψη του περιεχομένου της ομιλίας του. Στη συνέχεια ακολουθεί κείμενό του σχετικά με τη «Χαοτική Δυναμική: Μια κατ' εξοχήν 'χρήσιμη' επιστήμη», μία από τις θεωρίες στην οποία εκτενώς αναφέρθηκε στην εν λόγω ομιλία του. Το κείμενο αυτό, στο οποίο υπάρχουν πολλές βελτιώσεις και προσθήκες, είχε δημοσιευθεί στα ΧΗΜΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ καθώς επίσης και στην έκδοση των Μορφωτικών Εκδηλώσεων του ΕΙΕ με τίτλο: «Μοριακή Βάση των Ασθενειών, Αθήνα 1993» η οποία έχει εξαντληθεί.

οφείλονται στο ότι τα τελευταία χρόνια κατέστη δυνατή η αξιοποίηση (massive down-loading) μεγάλων βάσεων δεδομένων. Για συστήματα αυτού του είδους εν απουσία οργανικών νόμων που διέπουν τις αλληλεπιδράσεις συνιστώσων, μέχρι πρόσφατα μόνο η προσομοίωση (μίμηση) ήταν η ενδεδειγμένη μέθοδος για να μπορέσουμε με χρήση κυρίως κυψελικών αυτομάτων να δώσουμε μια αλληγορική περιγραφή χωρίς αξιώσεις ερμηνείας. Θα πρέπει να λεχθεί ότι οι τέσσερις θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις (βαρύτητας, ηλεκτρομαγνητισμός, ισχυρά και ασθενής πυρηνική αλληλεπίδραση), ενώ αποτελούν αναγκαίους και ικανούς νόμους μοντελοποίησης συστημάτων στο μικροσκοπικό και κοσμολογικό επίπεδο, είναι μόνο αναγκαίες συνθήκες και όχι ικανές στο μεσοσκοπικό επίπεδο. Στα εκτενή παραδείγματα που θα δοθούν, θαδειχθεί ότι αρχίζει η ανίχνευση και των ικανών νόμων που διέπουν τις αλληλεπιδράσεις στο μεσοσκοπικό επίπεδο και οι οποίοι νόμοι τόσο στο επίπεδο της δομής όσο και στο επίπεδο της λειτουργίας (hardware and software) αναδεικνύουν στοχαστικούς power laws, οι οποίοι υπαινίσσονται αναλλοίωτες ιδιότητες ως προς μετασχηματισμούς κλίμακος (fractals). Αυτό σημαίνει ότι στα παραπάνω πολύπλοκα δίκτυα λίγοι κόμβοι διεκδικούν τη «μερίδα του λέοντος», από πλευράς αριθμού διασυνδέσεων με τους υπολοίπους· αυτοί οι λίγοι κόμβοι καθορίζουν και την ευστάθεια του δικτύου, δηλαδή την αντοχή του σε περιβαλλοντικές διαταραχές. Είναι, τέλος, ενδιαφέρον να τονίσει κανείς ότι εάν σε κάθε κόμβο καθενός από τα παραπάνω δίκτυα τοποθετηθεί ένα δυναμικό σύστημα, που να διαθέτει έναν ελκυστή (περιοδικό ή χαοτικό), τότε η τοπολογία διασυνδέσεων που εγκυάται τη μεγαλύτερη ευστάθεια στον συγχρονισμό ανάμεσα στους καθέκαστα ταλαντωτές είναι η τοπολογία fractal.

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

A. L. Barabasi, *Linked. The new science of networks*, Perseus Publishing, 2002.

M. Buchanan, *Small world: uncovering nature's hidden networks*, Widenfield and Nicholson, 2002.

D. J. Watts, *Small worlds: the dynamics of networks between order and randomness*, Princeton University Press, 1999.

ΧΑΟΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ: ΜΙΑ ΚΑΤ' ΕΞΟΧΗΝ «ΧΡΗΣΙΜΗ» ΕΠΙΣΤΗΜΗ

Μέχρι και πριν 30 περίπου χρόνια οι επιστήμονες αναγνώριζαν μόνο δύο σαφώς διαχωρισμένα είδη δυναμικών συστημάτων: α) Συστήματα «ντετερμινιστικά» (καθοριστικά), μικρού αριθμού αλληλεπιδρώσων συνιστωσών (βαθμών ελευθερίας), η εξέλιξη των οποίων στον χρόνο εθεωρείτο απόλυτα προβλέψιμη και β) Συστήματα «στοχαστικά» μεγάλου ή απείρου αριθμού βαθμών ελευθερίας, των οποίων η σπουδή απαιτούσε τη χρήση της θεωρίας πιθανοτήτων και των οποίων η λεπτομερής πορεία και εξέλιξη στον χρόνο εθεωρείτο τυχαία και απρόβλεπτη. Βεβαίως, και τα στοχαστικά συστήματα υπήκουαν σε οργανικούς νόμους που όμως δεν εξέφραζαν μαθηματικά την εξέλιξη στον χρόνο των συγκεκριμένων μεταβλητών αλλά μάλλον την εξέλιξη συλλογικών ιδιοτήτων της πυκνότητας πιθανότητας των μεταβλητών αυτών, όπως π.χ. η μέση τιμή ή τετραγωνική απόκλιση και άλλες «ροπές» ή μακροϊδιότητες ανώτερης τάξεως.

Ομοίως, οι μόνες γνωστές «τροχιές» των συστημάτων αυτών ήταν καμπύλες ομαλές, δηλαδή σχεδόν παντού διαφορίσιμες,¹ συνεχείς, με ακέραιους (φυσικά) βαθμούς ελευθερίας (1,2,3,...). Η επιστήμη των χαοτικών φαινομένων έρχεται να προσθέσει στο επιστημονικό ρεπερτόριο μία νέα κατηγορία συστημάτων με τελείως διαφορετική δυναμική και τοπολογία.

Κατ' αρχάς, η χαοτική δυναμική αφορά αποκλειστικώς και μόνο σε μη γραμμικά δυναμικά συστήματα, συστήματα δηλαδή όπου οι καθ' έκαστα μεταβλητές συνδέονται όχι προσθετικά αλλά πολλαπλασιαστικά και οι καθ' έκαστα λύσεις των συστημάτων αυτών δεν είναι γραμμικά υπερθέσιμες, αλλά μάλλον συμπληρωματικές και αμοιβαία αποκλειόμενες.

Δεύτερον, τα χαοτικά συστήματα ενώ είναι εν γένει ολιγοδιάστατα και πλήρως ντετερμινιστικά είναι και απρόβλεπτα από πλευράς μακράς χρονικής εξέλιξης λόγω ευαίσθητης εξάρτησης της πορείας τους από τις αρχικές συνθήκες

1. Μια καμπύλη είναι μη-διαφορίσιμη σε κάποιο σημείο της όταν στο σημείο αυτό η ακτίνα καμπυλότητας είναι μηδέν, δηλαδή δεν ορίζεται η εφαπτομένη.

«εκκινήσεως». Τούτο σημαίνει ότι μικροδιακυμάνσεις στις αρχικές συνθήκες πολλαπλασιάζονται στον χρόνο κατά μέσον όρο εκθετικά, έτσι ώστε δύο «τροχιές» του συγκεκριμένου συστήματος που εκκινούν με μικροδιαφορές στις αρχικές συνθήκες να αποκλίνουν τάχιστα.

Εάν όμως υπάρχουν κατευθύνσεις κατά τις οποίες αρχικά γεγονικές τροχιές αποκλίνουν εκθετικά, υπάρχουν σε κάθε χαοτικό σύστημα και κατευθύνσεις κατά τις οποίες αρχικά απομακρυσμένες τροχιές συγκλίνουν εκθετικά.

Έτσι, αν θεωρήσουμε ότι το σύστημα δειγματοληπτεί ούτως ειπείν τον χώρο των καταστάσεων στον οποίο εξελίσσεται μέσω των δυναμικών «ψευδοποδίων» του, δηλαδή των τροχιών του, τότε αντιλαμβάνεται κανείς ότι κατά τις κατευθύνσεις των αποκλινουσών τροχιών ο χώρος των καταστάσεων δειγματοληπτείται όλο και πιο αραιά. Έτσι, αρχικές αβεβαιότητες αυξάνουν με αποτέλεσμα το χαοτικό μας σύστημα να δρα ουσιαστικά κατά τις κατευθύνσεις αυτές ως πηγή εντροπίας, ενώ κατά τις κατευθύνσεις των συγκλινουσών τροχιών αρχικές αβεβαιότητες «συμπιέζονται» προοδευτικά ώστε να κάνουν το σύστημα να δρα ως πηγή πληροφορίας.

Για την κατηγορία των «διατηρητικών» χαοτικών συστημάτων, οι διαγραφόμενοι «όγκοι» στον χώρο των καταστάσεων παραμένουν σταθεροί κατά μέσον όρο κατά την εξέλιξη του συστήματος, δηλαδή ο ρυθμός παραγωγής εντροπίας εξισορροπείται ακριβώς από τον ρυθμό παραγωγής πληροφορίας. Για την πολύ ενδιαφέρουσα όμως κατηγορία των μη διατηρητικών χαοτικών συστημάτων –που έχουν και το πρακτικό ενδιαφέρον– οι όγκοι στον χώρο των καταστάσεων συρρικνούνται προοδευτικά με ασυμπτωτική τιμή το μηδέν, που σημαίνει ότι ο μέσος ρυθμός παραγωγής πληροφορίας είναι μεγαλύτερος από τον μέσο ρυθμό παραγωγής εντροπίας.

Τα συστήματα αυτά έχουν λοιπόν το χαρακτηριστικό της ασυμπτωτικής ευστάθειας, και μάλιστα σε πολλαπλό βαθμό:

Έχουν δηλαδή την ιδιότητα –εξελισσόμενα από διαφορετικά υποσύνολα αρχικών συνθηκών– να καταλήγουν σε συνυπάρχοντες πολλαπλούς εκλυστές (attractors) καθένας από τους οποίους δρα, θα μπορούσε κανείς να πει, ως

αφαίρεση ή abstraction, ως «συμπιεστής» ή ως «γνωστική ρουφήχτρα» ενός πεπερασμένου υποσυνόλου αρχικών συνθηκών που λέγεται «κοίτη έλξης». Οι συνυπάρχοντες λοιπόν ελκυστές ενός τέτοιου μη διατηρητικού χαοτικού συστήματος μπορούν να παίξουν τον ρόλο συνεπτυγμένων κατηγοριών ή μνημών στις οποίες το υπό εξομοίωση γνωστικό σύστημα διαμερίζει ένα αρχικά αδιαφοροποίητο σύνολο αρχικών συνθηκών ή εξωτερικών ερεθισμάτων.

Η ιδιότητα αυτή καθιστά τα μη διατηρητικά χαοτικά συστήματα ιδεώδη μοντέλα (πρότυπα) βιολογικών επεξεργασιών πληροφορίας, τοσούτο μάλλον καθ' όσον η συνύπαρξη «θορύβου» και τάξης σε ένα χαοτικό ελκυστή συνάδει με τη φύση μιας βιολογικής μνήμης – η οποία, μακράν του να είναι «στατική» ή περιοδικώς επαναλαμβανόμενη, ενέχει στοιχεία αυτοσχεδιασμού και εξέλιξης. Η τοπολογία των χαοτικών ελκυστών είναι fractal (μορφοκλασματική). Μια fractal δομή χαρακτηρίζεται (σε αντιδιαστολή προς τα ευκλείδεια γεωμετρικά σχήματα) από αναλλοίωτες ιδιότητες σε αλλαγή κλίμακας και από κλασματικούς βαθμούς ελευθερίας. Το κύριο ίσως χαρακτηριστικό ενός οιαδήποτε υγιούς βιολογικού ιστού είναι η ικανότητα άνετης αυτοπροσαρμογής σε απότομα και απροσδόκητα περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Δεν είναι τυχαίο ότι πλείστοι βιολογικοί ιστοί είναι δομικά μεν fractals, λειτουργικά δε χαοτικοί παράξενοι ελκυστές.

Πλείστοι βιολογικοί ιστοί (το βρογχοπνευμονικό δένδρο, ο προστάτης, ο εγκεφαλικός φλοιός, το εσωτερικό τοίχωμα του λεπτού εντέρου, ο νεφρός, τα οστά, το κυκλοφοριακό σύστημα των αρτηριών και φλεβών, όλες οι πρωτεΐνες, κ.λπ.) έχουν fractal δομή, είναι δε αξιοσημείωτο ότι, όταν μια fractal (αυτοόμοια σε μετασχηματισμούς κλίμακας) δομή διεγερθεί από ένα παλμικό ερέθισμα, παρουσιάζει μη διατηρητική χαοτική λειτουργία με απλούς ή πολλαπλούς συνυπάρχοντες ελκυστές. Η fractal δομή (καμπύλες συνεχείς αλλά πουθενά διαφορίσιμες) εξασφαλίζει σε ένα βιολογικό ιστό τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Σε πολύ μικρούς όγκους εμπεριέχονται τεράστιες επιφάνειες (π.χ. ο βρογχοπνευμονικός ιστός του ανθρώπου καταλαμβάνει όγκο $\sim 0,1\text{lt}$ αλλά εάν η επιφάνειά του απλωθεί σε μία στρώση πάχους μιας κυπαρικής διαμέτρου καταλαμβάνει την έκταση περίπου... ενός γηπέδου τένις).

Ας σκεφτούμε τι θα συνέβαινε εάν οι βιολογικοί ιστοί ήταν «ευκλείδια στερεά»: τότε ένα βιολογικό ον διπλασίου επί παραδείγματι ύψους θα είχε τετραπλάσια επιφάνεια αλλά οκταπλάσιο βάρος. Αντιλαμβάνεται κανείς αμέσως ότι πέραν ενός ορίου ένας τέτοιος οργανισμός θα κατέρρεε υπό το ίδιο αυτού βάρος.

Η fractal δομή αντιπαρέχεται ένα τέτοιο ενδεχόμενο, δημιουργώντας δομές που στον τρισδιάστατο –π.χ. καρτεσιανό– χώρο έχουν διαστατικότητα μεταξύ 2 και 3, δηλαδή μεταξύ μιας ευκλείδιας επιφάνειας και ενός ευκλείδιου όγκου.

- ▶ Σε ένα σύνθετο ευκλείδιο στερεό ή επιφάνεια, ο «βαθμός διαχυτότητας» μιας ουσίας υπό την επίδραση τυχαίων διακυμάνσεων (θορύβου) είναι ευθέως ανάλογος του χρόνου t . Αποδεικνύεται ότι σε fractal δομές ο βαθμός διαχυτότητας αυξάνει ταχύτερα ως δύναμη του t^v ($v > 1$). Έτσι, στους πνεύμονες ή στον προστάτη λόγω χάρη, η fractal δομή επιτρέπει ταχύτερη και αποτελεσματικότερη μίξη αερίων και υγρών αντίστοιχα (το φαινόμενο αυτό καλείται «υπερ-διάχυση»). Μια fractal δομή επίσης απορροφά ταλαντώσεις και κραδασμούς πολύ ταχύτερα και αποτελεσματικότερα από μια ευκλείδια δομή: για παράδειγμα, μια fractal παραλία φθείρεται από τα κύματα πολύ λιγότερο από μία λεία ακτή. Ο (υγιής) άνθρωπος δεν αντιλαμβάνεται τους καρδιακούς του παλμούς διότι οι περιβάλλοντες fractal ιστοί της θωρακικής του κοιλότητας τους αποσβαίνουν.
- ▶ Μια fractal δομή είναι δυνατόν να κατασκευαστεί σε μικρό χρόνο από έναν απλό αλγόριθμο, ο οποίος επαναλαμβάνει εαυτόν σε πολλές κλίμακες ταυτοχρόνως, χωρίς ουσιαστικές αλλαγές. Έτσι, ο γεννητικός αλγόριθμος εν προκειμένω χρειάζεται για την κατασκευή ενός βιολογικού ιστού πολύ μικρότερο χρόνο από αυτόν που θα απαιτούσε η κατασκευή ενός «συμπαγούς» ευκλείδιου ιστού [εάν για παράδειγμα η γυναικεία μήτρα δεν είχε επιφάνεια fractal θα ζύγιζε ~ 500 kg και ο χρόνος κύησης θα ήταν της τάξης εκατοντάδων ετών!. («συμπαγείς» βιολογικοί ιστοί οι οποίοι έχουν «κάσει» εν πολλοίς την fractal ιδιότητα είναι οι πάσης φύσεως νεοπλασίες)].
- ▶ Επειδή ακριβώς μια fractal δομή εμπεριέχει πολλαπλές κλίμακες, επιτρέπει βραδεία αύξηση του λεγόμενου «μορφογεννητικού σφάλματος», δηλαδή του

μοιραίου σφάλματος (λόγω μεταλλαγών) ανακατασκευής από γενεάς εις γενεάν ενός συγκεκριμένου ιστού.

Μια διαταραχή λόγω μεταλλαγών θα ισοδυναμούσε πρακτικά με την παρασιτική εισαγωγή μιας νέας κλίμακας. Αν όμως στην υπό κατασκευή fractal δομή η κλίμακα αυτή προϋπάρχει, τότε η εξωτερική διαταραχή «παραβιάζει» ούτως ειπείν «ανοικτές θύρες». Τούτο σημαίνει ότι μια fractal δομή παρουσιάζει μεγάλη αναισθησία σε τυχαίες διαταραχές – συγκεκριμένα το μορφογεννητικό σφάλμα αυξάνει λογαριθμικά με τη μέση απόκλιση της διαταραχής ενώ για μια μη fractal δομή θα αύξανε εκθετικά. Μια εντυπωσιακή βιολογική εφαρμογή της χασοικής δυναμικής απαντάται στην περιοχή της κλινικής καρδιολογίας. Μέχρι και προ 15 περίπου ετών επιστεύετο ότι η «υγιής» καρδιά παρουσιάζει αυστηρή περιοδικότητα, δηλαδή η ασυμπτωτικά ευσταθής δυναμική της είναι ένας «οριακός κύκλος». Πρόσφατες κλινικές και επιδημιολογικές σπουδές ανατρέπουν άρδην την (εύλογη) αυτή άποψη.

Ο Dr. Any Goldberger στην καρδιολογική κλινική του Χάρβαρντ άρχισε προ δεκαπενταετίας μια συστηματική φασματική ανάλυση του QRS ρυθμού (που καταγράφεται σε καταστάσεις ρουτίνας από τον κοινό ηλεκτροκαρδιογράφο) του κοιλιακού μυοκαρδίου. Βρήκε ότι σε υγιή άτομα το φάσμα αυτό, σε διπλή λογαριθμική κλίμακα, είναι μια ευθεία γραμμή με κλίση -1 (αυτό που ονομάζουμε $1/f$ θόρυβο) και συνεχές φάσμα συχνοτήτων από $0,3 \text{ Hz}$ -100Hz : σε άτομα όμως επιδεκτικά σε ανατάξιμη κοιλιακή μαρμαρυγή (ventricular fibrillation) το φάσμα αυτό συρρικνώνεται σημαντικά (η κλίση γίνεται $-1,5$, -2 , $-3,0, \dots$) έτσι ώστε οι υψηλές συχνότητες να αποκόπτονται. Τι σημαίνει αυτό;

Σημαίνει ότι η λειτουργία του υγιούς κοιλιακού μυοκαρδίου οφείλει να είναι εν τινι μέτρω «θορυβώδης» ώστε να καθιστά το άτομο ικανό να προσαρμόζεται σε ερεθίσματα (συγκινήσεις, μυϊκή καταπόνηση) που απαιτούν μικρό χρόνο χαλάρωσης (δηλαδή υψηλές συχνότητες). Η ασυμπτωτική ευσταθής τροχιά (ο ελκυστής) μιας τέτοιας χρονοσειράς QRS με φάσμα « $1/f$ -noise» δεν είναι οριακός κύκλος (πράγμα που θα έδιδε ένα διακριτό φάσμα συχνοτήτων) αλλά ένας χασοικός ελκυστής με «διαστατικότητα» της τάξεως του $\sim 5,2$ (και όχι 1 όπως θα συνέβαινε αν ο ελκυστής ήταν οριακός κύκλος).

Ας σημειωθεί ότι αυτή η χαοτική λειτουργική συμπεριφορά του (υγιούς) κοιλιακού μυοκαρδίου είναι απότοκος της fractal δομής ενός (αυτοόμοιου) δενδρικού σχηματισμού κυτταρικών αξόνων του μυοκαρδίου (του His-Purkinje σχηματισμού) μέσω του οποίου ο παλμός του κατώτερου καρδιακού βηματοδότη (του κόμβου AV) μεταβιβάζεται στο κοιλιακό μυοκάρδιο. Τυχόν τοπολογική παραμόρφωση του παραπάνω δενδρικού σχηματισμού (οφειλόμενη σε παθολογικά αίτια) τροποποιεί άρδην (και επί τα χείρω) το λειτουργικό φάσμα του υγιούς μυοκαρδίου, δηλαδή το «στενεύει» με αποτέλεσμα ο κάτοχός του να αδυνατεί να αντεπεξέλθει σε ξαφνικά ερεθίσματα που, όπως είπαμε, απαιτούν μικρούς χρόνους προσαρμογής.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί μια εφαρμογή των χαοτικών συστημάτων με πολλαπλούς ελκυστές (κατηγορίες-μήμες) στη δυναμική του εγκεφαλικού φλοιού. Η δυναμική αυτή πειραματικά ελέγχεται με το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, που είναι (όπως και το ηλεκτροκαρδιογράφημα) η καταγραφή μιας μονοδιάστατης προβολής (χρονοσειράς) μιας πολυδιάστατης δυναμικής διαδικασίας.

Στο προκείμενο, οι διάφορες μήμες-κατηγορίες-ελκυστές στον εγκεφαλικό φλοιό έχουν ως hardware (υλική υποδομή) υποσύνολα νευρωνικών δικτύων.

Ένας νευροφυσιολογικός «βηματοδότης»-βρόχος ανάδρασης, του οποίου η δυναμική εκπνέζει από ειδικά νευρωνικά κέντρα του θαλάμου (the “thalamocortical” pacemaker), εξικνεύεται μέχρι των νευρωνικών δικτύων του φλοιού και επιστρέφει στον θάλαμο, είναι υπεύθυνος για την εκ περιτροπής στον χρόνο «αναζωπύρωση» των καθ' έκαστα συνυπαρχουσών μνημών-χαοτικών ελκυστών.

Κατά τη διάρκεια συμπεριφερικών καθεστώτων, όπως λόγου χάρη η κατάσταση χαλάρωσης (relaxation) και ο ελαφρός ύπνος, η δυναμική του παραπάνω βηματοδότη είναι και αυτή ένας χαοτικός ελκυστής σχετικά μικρής διαστατικότητας (~3-4) και η διαλειπτική διαδικασία μεταπτώσεώς του από τη μία μνήμη στην άλλη είναι σχετικά ομοιογενής (δηλαδή περίπου ίσως χρόνος «προσοχής» εκκωρείται σε καθεμιά από τις συνυπάρχουσες μνήμες).

Κατά τη διάρκεια όμως ενεργού συμμετοχής του ατόμου σε επίλυση προβλημάτων ή αναγνωρίσεως προτύπων, ο νευροφυσιολογικός βηματοδότης καθίσταται χαρακτηριστικά ανομοιογενής. Ο χρόνος που διατίθεται για καθεμιά από τις συνυπάρχουσες μνήμες-κατηγορίες διαφοροποιείται δραματικά έτσι ώστε λίγες μνήμες διεκδικούν από πλευράς χρόνου «προσοχής» τη μερίδα του λέοντος ενώ οι υπόλοιπες πρακτικά παραμερίζονται εντελώς. Αυτή η ανομοιογενής διαλειπότητα συνεπάγεται και την αύξηση της διαστατικότητας του βηματοδότη-ελκυστή που από την τιμή 3-4 είναι δυνατόν να μεταπηδήσει στην τάξη του ~ 10 , δείχνοντας με αυτόν τον τρόπο μια αύξηση της χωρητικότητάς του (των βαθμών ελευθερίας του) ως επεξεργαστή πληροφορίας.

Είναι, τέλος, αξιοσημείωτο ότι κατά τη διάρκεια επιληπτικών επεισοδίων (*petit-mal epilepsy*), όπου σχεδόν εξ ορισμού ο νευροφυσιολογικός επεξεργαστής πληροφορίας αδρανοποιείται, η διαστατικότης του βηματοδότη πέφτει στην τιμή ~ 2 . Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η χαοτική δυναμική προσφέρει ένα πειστικό πρότυπο ενός βιολογικού επεξεργαστή πληροφορίας που πριν απ' όλα πρέπει να είναι άνετα αυτοπροσαρμόσιμος.

Επομένως, η υγιής καρδιά και ο υγιής εγκέφαλος λειτουργικά εμφανίζουν χαοτικούς ελκυστές μεγάλης διαστατικότητας με ευρέα συνεχή φάσματα συχνότητων.

Άρα, μπορούμε ίσως να πούμε ότι η επιληψία αφενός και η κοιλιακή μαρμαρύνη αφετέρου είναι ούτως ειπείν «ισομορφικές» ασθένειες: και στις δύο περιπτώσεις το αντίστοιχο βιολογικό όργανο είναι ανίκανο να λειτουργήσει σαν προσαρμοστικός επεξεργαστής πληροφορίας.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η σύγχρονη αντίληψη για τον τρόπο αναγνώρισης ενός ενζύμου από το υπόστρωμά του δεν αφορά στην προσαρμογή των αντιστοιχικών στερεοδομών (τύπου «κλειδιού-κλειδαριάς») αλλά μάλλον στη δυναμική αλληλεπίδραση των φασμάτων των συχνότητων του ενζύμου (που είναι ένα χαοτικό δυναμικό σύστημα) με τον υποδοχέα (που είναι επίσης ένα χαοτικό δυναμικό σύστημα).

Προσθέτουμε επίσης ότι οι χαοτικοί ελκυστές μπορούν να μοντελοποιήσουν γεννήτριες τεχνητών γλωσσών, των οποίων τα *αναγκαία* χαρακτηριστικά συνάδουν με εκείνα των φυσικών, γεννητικών και μουσικών γλωσσών.

Ας υπενθυμίσουμε ότι τα εκ των ουκ άνευ χαρακτηριστικά (αναγκαίες αλλά όχι και ικανές συνθήκες) κάθε γλώσσας επικοινωνίας είναι:

- ▶ Η ύπαρξη μνήμης μακράς κλίμακας, ώστε ο αποδέκτης να ανιχνεύει και να διορθώνει λάθη εκ των συμφραζομένων (γραμματικοί και συντακτικοί κανόνες).
- ▶ Η επιλεκτικότητα: Λίγες λέξεις-κλειδιά και λίγες λεπτομέρειες σε ένα πρότυπο διεκδικούν τη «μερίδα του λέοντος» από πλευράς συχνότητας εμφάνισης (Νόμος του Zipf).
- ▶ Το σπάσιμο συμμετρίας στον μονοδιάστατο φυσικό χώρο (όλες οι γλώσσες διαβάζονται και γράφονται μονόφωρα· «παλίνδρομα» είναι αξιοπερίεργες εξαιρέσεις).
- ▶ Όλες οι γλώσσες σχηματίζουν φράσεις που είναι συστήματα αυτοαναφοράς. Επιβάλλεται λοιπόν αυτοσυνέπεια σε κάθε γλωσσικό σχήμα ώστε ένα τμήμα μιας φράσης να μην αναιρεί άλλο τμήμα της ίδιας φράσης. Η αυτοσυνέπεια σε μια φράση αυτοαναφοράς συνεπάγεται ασυμπτωτική ευστάθεια, δηλαδή ύπαρξη ελκυστή, στο δυναμικό σύστημα το οποίο προσομοιώνει τη φράση αυτή.
- ▶ Κάθε γλώσσα διασφαλίζει μια «ισορροπία τρόμου» μεταξύ ποικιλίας ρεπερτορίου (αναγκαίας για να ελκύει το ενδιαφέρον του συνδιαλεγόμενου) και αξιοπιστίας (ύπαρξη συντακτικών κανόνων και ικανότητα ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών).

Όλες οι παραπάνω ιδιότητες είναι δυνατόν να τηρηθούν σε μια τεχνητή γλώσσα-κείμενο που προκύπτει ως μονοδιάστατη χρονοσειρά ή ως αποτέλεσμα διαμερισμού ενός χαοτικού πολυμορφοκλασματικού ελκυστή σε μη αλληλοκαλυπτόμενες κυψελίδες («σύμβολα»). Η τροχιά του ελκυστή περνά *ανομοιόμορφα* και *διαλειπτικά* από τις διάφορες κυψελίδες-σύμβολα, με αποτέλεσμα τα σύμβολα αυτά να διαδέχονται το ένα το άλλο στον χρόνο σχηματίζοντας έτσι ένα μονοδιάστατο κείμενο. Η στατιστική ανάλυση του τεχνητού αυτού κειμένου

δίνει τις παραπάνω συλλογικές ιδιότητες της τεχνητής γλώσσας. Συγκρίσεις με τις αντίστοιχες συλλογικές ιδιότητες φυσικών γλωσσών (ελληνικής, αγγλικής) γεννητικών κειμένων (DNA, mRNA) και μουσικών γλωσσών (κείμενα J.S. Bach) δίνουν ικανοποιητική *ποιοτική* ταύτιση. Έτσι είναι κατ' αρχάς δυνατόν, χρησιμοποιώντας πολύ απλά μη γραμμικά ανομοιογενή χαοτικά δυναμικά συστήματα ως hardware, να παράγουμε πολυπλοκότητες συμβολικές διαδικασίες software που να μιμούνται κατά πρωτόλειο έστω τρόπο τα αναγκαία χαρακτηριστικά κάθε γλώσσας επικοινωνίας. Η *επιλεκτικότητα* της τεχνητής γλώσσας βασίζεται στο ότι ο ελκυστής επισκέπτεται τα διάφορα σύμβολα-κυψελίδες κατά τρόπο *ανομοιογενή*, δίνοντας διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας σε διάφορα σύμβολα ή λέξεις ή φράσεις του *τεχνητού κειμένου*.²

Η σχεδίαση, λοιπόν, «νοημόνων» robots, με πολύ απλή «γνωστική hardware» ικανών να «εκφράζονται» σε μια αποδεκτή «πρωτόγονη» γλώσσα είναι κατ' αρχάς δυνατή.

Για τον αναγνώστη που θα ήθελε περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες για το υλικό αυτής της εισαγωγής παραπέμπουμε στα ακόλουθα βιβλία:

- ▶ J. S. Nicolis, *Chaotic Dynamics applied to biological information processing*, Academie – Verlag, 1987.
- ▶ J. S. Nicolis, *Διλήμματα και αδιέξοδα στην ανθρώπινη επικοινωνία*, Εκδ. Σάκκουλας, Αθήνα, 1988.
- ▶ J. S. Nicolis, *Dynamics of Hierarchical systems. An evolutionary approach*, Springer-Verlag, 1986. [Transl. Into Russian, MIR 1990)].
- ▶ J. S. Nicolis, *Chaos and information Processing*, World Scientific Publishing Co, 1991.

2. Ο γεννήτορας-ελκυστής δίνει τα πιστότερα προς μία πραγματική γλώσσα αποτελέσματα όταν είναι πολυμορφοκλασματικός αλλά μη χαοτικός –«στην κόψη του ξυραφιού» όπως θα λέγαμε– ανάμεσα σε περιοδικούς ελκυστές και σε πλήρως χαοτικούς ελκυστές, όπως για παράδειγμα ο ελκυστής Feigenbaum.

Ένα ενδιαφέρον βιβλίο του I. Stewart που τιτλοφορείται *Does God play Dice* θίγει τις αρχές της χαοτικής δυναμικής (χωρίς να υπεισέρχεται σε εφαρμογές βάθους) κυρίως από μαθηματικής και φιλοσοφικής απόψεως.

Συγκεκριμένα, ο Stewart ορθά ανάγει την αρχή της χαοτικής δυναμικής στο έργο του μεγαλοφούς μαθηματικού Henri Poincare της τελευταίας δεκαετίας του προ-περασμένου αιώνα. Το θεμελιώδες ερώτημα που έδρασε σαν καταλύτης για την εξέλιξη της νέας επιστήμης του χάους ήταν: Το ηλιακό σύστημα είναι ευσταθές ή όχι; Οι ελλειπτικές τροχιές των εννέα (προς το παρόν) πλανητών θα μείνουν ως έχουν για πάντα; Ο Poincare δεν απάντησε άμεσα στο ερώτημα αυτό (ακόμη και σήμερα η οριστική απάντηση δεν έχει δοθεί) αλλά έκανε, αν θέλετε, κάτι παραγωγικότερο: εφεύρε την επιστήμη της τοπολογίας, η οποία κυριολεκτικά «γεωμετροποιεί» τη δυναμική και τα εγγενή προς αυτή προβλήματα και κριτήρια ευστάθειας. Τούτο, συνδυαζόμενο τα τελευταία χρόνια με εξαιρετικά λεπτομερείς παρατηρήσεις και ταχείς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, επέτρεψε σε σύγχρονους επιστήμονες (όπως, ο Jack Wisdom του MIT και ο Jacques Laskar του ερευνητικού κέντρου Bureau de Longitude στο Παρίσι) να αποφανθούν τουλάχιστον για τη μακροπρόθεσμη συμπεριφορά ενός πλανήτη: του «εξωιάτου» Πλούτωνα. Κατά τον Wisdom, η τροχιά του Πλούτωνα είναι χαοτική με χρονικό όριο προβλεψιμότητας ~200 εκατομμύρια χρόνια. Μετά από αυτό το χρονικό διάστημα «κανείς» κυριολεκτικά δεν ξέρει τι «τύχη» θα έχει ο Πλούτων και η φύση της τροχιάς του.

Αρχής γενομένης λοιπόν από την πλανητική δυναμική, η χαοτική συμπεριφορά άρχισε να... ανακαλύπτεται και να μελετάται στη μετεωρολογία, στις χημικές ταλαντώσεις, την υδροδυναμική, την ηλεκτρονική, τη γεωφυσική («σεισμική δράση», αναστροφές μαγνητικού πεδίου) και σιγά-σιγά και σε «πρακτικά» θέματα που αρχίζουν από την οικολογία και που όπως είδαμε παραπάνω εξικνούνται και μέχρι των βιοχημικών ταλαντώσεων και της κλινικής καρδιολογίας. Ας σημειωθεί ότι ο Stewart στο βιβλίο του θα μπορούσε να είχε ίσως αναφέρει, δίκην μαθηματικού παραδόξου αν θέλετε, και την εμφάνιση Χάους σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Ένα φλέγον πράγματι ερώτημα στο προκείμενο είναι: Όταν προσομειώσουμε ένα μαθηματικό πρότυπο ενός φυσικού φαινομένου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (που κι αυτός είναι ουσιαστικά ένα δυναμικό σύστημα), πώς είναι δυνατόν να διαχωρίσουμε την τυχόν χαοτική συμπεριφορά, που είναι εγγενής στο φυσικό φαινόμενο αυτό καθ' αυτό, από την «υπολογιστική» χαοτική συμπεριφορά που μοιραία ανακύπτει όταν ο υπολογιστής λειτουργήσει επί πολύ μακρύ χρονικό διάστημα (έτσι ώστε να «αποσυζευχθεί» από τις αρχικές συνθήκες, δηλαδή το πρόγραμμα, και να αρχίζει να «αυτοσχεδιάζει»);

Η προσωρινή απάντηση είναι ότι εάν το φυσικό σύστημα έχει χαοτικό ελκυστή ή χαοτικούς ελκυστάς, οι οποίοι είναι εξ ορισμού αναισθητοι σε ευρείες διακυμάνσεις εξωτερικών διαταραχών, τότε το υπολογιστικό χάος μπορεί να ξεχωριστεί. Είναι όμως δυνατό το ίδιο πράγμα να γίνει για τις καθ' έκαστα (individual) τροχιές του υπό μελέτη συστήματος; Η απάντηση είναι μάλλον όχι.

Το βιβλίο του Stewart λοιπόν προορίζεται κυρίως για αναγνώστες μη τεχνικούς που ενδιαφέρονται να έλθουν σε επαφή με το νόημα μάλλον παρά με τη «χρησιμότητα» της νέας θεωρίας. Αυτό κατά τη γνώμη μας είναι απαραίτητο. Για να «ελκυστεί» ο αναγνώστης –τεχνικός ή μη– σε ένα θέμα, μια νέα επιστήμη, θα πρέπει πριν απ' όλα να «συντονιστεί» συναισθηματικά και υπαρξιακά. Τότε μόνο θα μπορεί να εκτιμήσει και να δικαιολογήσει στον εαυτό του τον τυχόν κόπο που είναι απαραίτητο να καταβάλει για να προχωρήσει σε ουσιαστικότερο βάθος.

Είναι αξιοσημείωτο πάντως να διαπιστώνει κανείς το εξής: Ένα βιβλίο όπως το παραπάνω έχει τον ρητορικό τίτλο *Αν ο Θεός παίζει ζάρια* – μια ερώτηση στο κάτω-κάτω εντελώς ακαδημαϊκής σημασίας για τον «κοινό» άνθρωπο. Εντούτοις, ο αναγνώστης των βιβλιογραφικών αναφορών τις οποίες παραθέτουμε θα διαπιστώσει με έκπληξη, και τολμούμε να προσθέσουμε με ένα παράξενο αίσθημα χαράς, ότι από αυτή την «υπαρξιακή» θέση εκπηγάζουν χάρις στη χαοτική δυναμική τόσο πρακτικά συμπεράσματα όσο –ούτε λίγο ούτε πολύ– μια ιατρική πρόγνωση με βάση το φάσμα του QRS ρυθμού του κοιλιακού μυοκαρδίου που μας προειδοποιεί αν στους επόμενους μήνες ή λίγα χρό-

να υπάρχει βάσιμη πιθανότητα να καταληφθούμε από (ανατάξιμη ή και μοιραία) κοιλιακή μαρμαρυγή. Τι πιο χρήσιμο από αυτό;

Τέλος, η χασοτική δυναμική έχει τη θέση της και στο αιώνιο θέμα της «ελεύθερης βούλησης», πράγμα που μέχρι τώρα εθεωρείτο αντικείμενο ψυχολογικών ή μάλλον φιλοσοφικών και θεολογικών συζητήσεων (και διαμαχών) και βεβαίως θέμα τραγωδιών (*Οιδίπους Τύραννος*). Γνωρίζουμε σήμερα ότι η συνειδητοποίηση μιας γνωστικής μεταλλάξεως (απότομης ή εξελικτικής) στον εγκέφαλο γίνεται πάντοτε «κατόπιν εορτής». Το εν εγρηγόρσει άτομο είναι πάντοτε «Επιμηθεύς»: διαπιστώνει και περιγράφει μια βιοχημική και νευροφυσιολογική δυναμική διαδικασία που ήδη το ξεπερνάει (κατά 4/5 του δευτερόλεπτου περίπου). «Λαχανιάζουμε» κυριολεκτικά πίσω από τον εγκέφαλό μας. Στην ουσία ο «Δαίμων» που αποφασίζει μέσα μας είναι αυτόνομος. Η λήψη αποφάσεων λοιπόν εκ μέρους μας (βάση του μύθου της ελεύθερης βούλησης του ατόμου) είναι απλώς a posteriori λογικοποίηση (rationalization) ενός fait accompli (τετελεσμένου γεγονότος). Υπεύθυνη γι' αυτό είναι η δυναμική των νευρωνικών δικτύων του εγκεφάλου μας.

Όσο πιο «πειστική» είναι η λογικοποίηση της εγκεφαλικής μας δυναμικής από τη συμβολική γλώσσα, τόσο πιο κοινωνικά «υπεύθυνοι» και «αποδεκτοί» νιώθουμε.

Η ψευδαίσθηση της ελεύθερης βούλησης στηρίζεται στο γεγονός ότι παρά το ότι η δυναμική του εγκεφάλου που ουσιαστικά «κινεί τα ντία» της συμπεριφοράς μας είναι ντετερμινιστική είναι και απρόβλεπτη (χασοτική) λόγω των μη γραμμικών διασυνδέσεων των νευρωνικών μας δικτύων και της ευαίσθητης εξάρτησης της τελικής τους κατάστασης (ελκυστή) από τις αρχικές συνθήκες. Κατά συνέπεια παρουσιάζει για τον κάτοχό της στοχαστικό χαρακτήρα. Σε τελευταία ανάλυση υποστηρίζω ότι η συμβολική γλώσσα είναι ένας συνήγορος της συμπεριφοράς μας που καλείται σε επικουρία όταν συνειδητοποιηθεί ότι η απόφαση για δράση έχει ληφθεί.

Η έννοια της τραγωδίας πάντως για την οποία κάνουμε παραπάνω μνεία, επί επιστημονικής βάσεως αυτή τη φορά, θα μπορούσε ίσως να επαναπροσδιο-

ριστεί ως ακολούθως: «Τραγωδία» είναι η διαδικασία άγονης αναζήτησης αναλλοίωτων μεγεθών (δηλαδή συμμετριών) σε φυσικά (hardware) φαινόμενα αλλά κυρίως συμβολικά (software) φαινόμενα (όπως για παράδειγμα οι βιολογικές, κοινωνικές, ψυχολογικές και οικονομικές διαδικασίες). Η απία που οδηγεί στην τραγωδία είναι σχεδόν προφανής: Η τυχόν ανυπαρξία αναλλοίωτων μεγεθών συνεπάγεται ανυπαρξία εγγενών φυσικών νόμων και προκαλεί κατά συνέπεια την εντύπωση ότι ο άνθρωπος γενικά και ο ερευνητής ιδιαίτερα, είναι ίσως έρμαιο ενός «πανδαιμονίου» μάλλον παρά ένας υπήκοος μιας συγκεκριμένης νομοτέλειας. Ο άνθρωπος λοιπόν είναι το «παίγνιον» ενός αυθαίρετου «Θείου» και η συνειδητή ζωή μια κακόγουστη φαρσοκωμωδία.

Η δυσκολία εντοπίσεως αναλλοίωτων μεγεθών –συμμετριών– καθίσταται εντονότερη όσο αφήνοντας απλά προβλήματα της κλασικής ή quantum Φυσικής προχωρούμε στη σπουδή φαινομένων που προσιδιάζουν στις συμβολικές (software) διαδικασίες: Τα φαινόμενα αυτά χαρακτηρίζονται από λίγους βαθμούς ελευθερίας, δηλαδή πολλές σπασμένες συμμετρίες (άρα λίγα αναλλοίωτα μεγέθη) και συνεπώς αυξημένη πολυπλοκότητα.

Πράγματι, σχεδόν εξ ορισμού, ένα πολύπλοκο σύστημα είναι εκείνο στο οποίο υπάρχει μεγάλη δυσκολία ανακαλύψεως συμμετριών, αναλλοίωτων μεγεθών –ως προς δεδομένες ομάδες μετασχηματισμών– και επομένως νόμων. Τα συμβολικά αυτά συστήματα που περιγράφονται πολλές φορές δομικά μεν από πολύ–μορφοκλασματικές δομές (multifractals) δυναμικά δε από μη διατηρητικό χάος, χαρακτηρίζονται από συνύπαρξη πολλαπλών κλιμάκων στον χώρο και στον χρόνο.

Έτσι, η προσπάθειά μας εστιάζεται στην εύρεση “scaling laws” (διαδικασιών που διέπονται από σχέσεις αυτό-ομοιότητας) και στη σπουδή του φάσματος δηλαδή της διασποράς των exponents (δεικτών) αυτών των scaling laws (λόγου χάρη των δεικτών του Feigenbaum που είναι όντως αναλλοίωτοι για μια ευρεία κατηγορία συμμετρικών χαοτικών απεικονίσεων).

Η εφαρμογή της χαοτικής δυναμικής λοιπόν στη σπουδή των συμβολικών συστημάτων δίνει την ελπίδα απομυθοποίησής τους και συμβιβασμού με δύο

έννοιες που μέχρι τούδε εθεωρούντο αλληλοσυγκρουόμενες: την έννοια της καθοριστικότητας (ντετερμινισμού) και την έννοια της μη προβλεψιμότητας (ελεύθερη βούληση).

Στο παρελθόν μέχρι και προ 50 περίπου ετών, για παράδειγμα, οι φυσικοί επιστήμονες επέλεγαν προβλήματα επιλύσιμα, («ολοκληρώσιμα»)³, δηλαδή προβλήματα πολλών διατηρημένων συμμετριών (πολλών αναλλοίωτων χαρακτηριστικών) ή προβλήματα μικρής πολυπλοκότητας. Είχαν κατηγορηθεί –εν τινι μέτρω δικαίως– από «θεράποντες» συμβολικών επιστημών (όπως η Βιολογία, Ψυχολογία, Κοινωνιολογία, Οικονομική, κ.λπ.) ότι είναι εξωπραγματικοί και ότι τα προβλήματα με τα οποία νοχολούντο λίγη ή καμία συνάφεια είχαν προς την «πραγματικότητα». Κατά τους «Soft Scientists», τα «πραγματικά» προβλήματα χαρακτηρίζονται από πολλές σπασμένες συμμετρίες, λίγα αναλλοίωτα μεγέθη –δύσκολα ανιχνευόμενα– και μεγάλη πολυπλοκότητα (δηλαδή μεγάλη δυσκολία περιγραφής, όπως τα πολύπλοκα δίκτυα στα οποία αναφέρθηκε η κύρια ομιλία μου).

Σε τελευταία ανάλυση, και η «διαμάχη» ανάμεσα σε βασική και εφαρμοσμένη έρευνα ανάγεται πιθανώς στις παραπάνω διαφορετικές προτιμήσεις επιλογής θεμελιωδών προβλημάτων.

Η ενοποίηση πάντως των “Hard” & “Soft” επιστημών και η «συμφιλίωσή» τους μέσα στα πλαίσια ενός ευρέως φάσματος φυσικών φαινομένων με λιγότερη ή περισσότερη πολυπλοκότητα είναι ένα φλέγον αίτημα των καιρών. Η Χαοτική Δυναμική παίζει στην προσπάθεια αυτή έναν ουσιαστικό ρόλο.

3. Τα ολοκληρώσιμα συστήματα μπορούν να χαρακτηριστούν και «αν-ιστορικά»: αρκεί η γνώση των αρχικών συνθηκών (εκκινήσεως) και ο εμφυλοχώρων οργανικός νόμος για να υπολογιστεί η κατάσταση του συστήματος οποτεδήποτε στο μέλλον ή στο παρελθόν (π.χ. η κλασική νευτώνεια μηχανική των δύο σωμάτων). Αντιθέτως, στα μη-ολοκληρώσιμα ιστορικά συστήματα για τον υπολογισμό μιας καταστάσεως απαιτείται πλην της γνώσης των αρχικών συνθηκών και του δυναμικού νόμου και ο υπολογισμός όλων των ενδιάμεσων καταστάσεων (της «τροχιάς»), δηλαδή του τρόπου με τον οποίο το σύστημα έφτασε στον τελικό προορισμό· ο λόγος είναι ότι η τροχιά των μη ολοκληρώσιμων συστημάτων είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στις περιβαλλοντικές συγκυρίες, πράγμα που σημαίνει ότι η τροχιά του συστήματος είναι ασταθής και επιδεκτική ριζικής (απροβλέπτου) αλλαγής ανά πάσα στιγμή.

Γονιδιακός ντετερμινισμός: κίνδυνος για την επιστήμη και την κοινωνία

Γεώργιος Θηραίος

*Διευθυντής του Ινστιτούτου Μοριακής Βιολογίας
και Βιοτεχνολογίας στο ΙΤΕ Κρήτης*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ (ΓΙΑ ΟΛΑ ΕΥΘΥΝΟΝΤΑΙ ΤΑ ΓΟΝΙΔΙΑ)



Θα ήθελα κατ' αρχάς να ευχαριστήσω τους οργανωτές για την πρόσκληση σε αυτή την εκδήλωση. Το θέμα μου αφορά τον γονιδιακό ντετερμινισμό και τις ιδιαίτερα αρνητικές επιπτώσεις του στην κοινωνία και την επιστήμη. Πριν ξεκινήσω, θα ήθελα να τονίσω ότι δεν είμαι φιλόσοφος αλλά επιστήμονας κι επομένως ό,τι λέω το αντλώ από την εμπειρία μου στην επιστήμη και την όποια δυνατότητα διαθέτω για να επεκτείνω την επιστήμη στην κοινωνία.

Τον γονιδιακό ή γενετικό ντετερμινισμό (όπως λεγόταν παλιότερα) τον βιώνουμε στην καθημερινή μας ζωή. Λέγοντας ότι κάποιος είναι φύσει εγκληματίας ή φύσει κάτι άλλο, προφανώς εννοούμε ότι στο αίμα του, στα γονίδιά του, υπάρχει κάτι που προκαθορίζει ότι ο συγκεκριμένος άνθρωπος θα γίνει εγκληματίας, μουσικός ή κάτι άλλο. Αλλά ας δούμε πρώτα τι είναι ο γονιδιακός ή γενετικός ντετερμινισμός. Είναι η άποψη που ισχυρίζεται ότι ακόμα και οι πιο

πολύπλοκες βιολογικές εκφάνσεις μπορούν να αναχθούν στα γονίδια ενός οργανισμού. Συνυφασμένος με τον γονιδιακό ντετερμινισμό είναι και ο αναγωγικός τρόπος τον οποίο ακολουθούμε εμείς οι μοριακοί βιολόγοι προκειμένου να εξηγήσουμε ένα κομμάτι της φύσης. Όλα λοιπόν εξηγούνται γραμμικά με βάση τα γονίδια και όλα μπορούν να αναχθούν σε αυτά.

Πέρα από τον γονιδιακό ντετερμινισμό, υπάρχει ο γενικότερος ντετερμινισμός της φύσης. Πρόκειται για τη γνωστή φιλοσοφική άποψη που ισχυρίζεται ότι όλα στη φύση –ζωντανή και μη– είναι προκαθορισμένα και ρυθμίζονται από τους νόμους της Φυσικής. Ο γενικευμένος προκαθορισμός εγκαθιδρύθηκε ως φιλοσοφική άποψη κατά τη μετάβαση από την αριστοτέλεια στη νεωτέρη ερμηνεία της φύσης. Η αριστοτέλεια άποψη περί φυσικής υποστήριζε πως ό,τι συμβαίνει υπακούει σε ό,τι αρέσει ή όχι στη φύση. Η νεωτέρη Φυσική είναι άκρως ντετερμινιστική κι αρνείται την ύπαρξη ελευθερίας στη βούληση. Η αμφισβήτησή της πάντως ήρθε με την Κβαντομηχανική και ιδιαίτερα όταν διατυπώθηκε η αρχή της αβεβαιότητας. Η έννοια του ντετερμινισμού, του προκαθορισμού δηλαδή ότι όλα τα πράγματα είναι κατά βάση αποτέλεσμα κάποιας αιτίας, είναι γενικότερη από τον γονιδιακό ντετερμινισμό. Το ενδιαφέρον είναι ότι αν διαβάσει κανείς απόψεις για τον γενικότερο ντετερμινισμό, το κομμάτι που αφορά την ανθρώπινη ζωή αναφέρεται ως συνιστώσα της γενετικής υποστάσης όσο και του περιβάλλοντος. Για τον ντετερμινισμό αυτό δεν συνιστά πρόβλημα καθώς θεωρεί το περιβάλλον εξίσου ντετερμινιστικό.

Αυτά εν γένει. Μπαίνοντας στη βαθύτερη ουσία και μιλώντας για γονιδιακό ντετερμινισμό, βλέπουμε ότι υπάρχουν ποικίλες εκφράσεις του –από τις πιο ακραίες και άκαμπτες μέχρι τις πιο ήπιες. Ουσιαστικά διαφέρει μονάχα το ποσοστό του περιβάλλοντος που κρίνει κανείς ότι παίζει ρόλο στον γονιδιακό προκαθορισμό. Αν επικεντρώνεται στο περιβάλλον είναι πιο ήπιος ντετερμινιστής, αν όχι είναι πιο σκληρός. Η ντετερμινιστική άποψη όμως δεν επικρατεί για το λόγο ότι σοβαροί επιστήμονες πιστεύουν στον γονιδιακό ντετερμινισμό, αλλά επειδή χρησιμοποιείται από την ευρύτερη επιστημονική κοινότητα ως εύκολη εξήγηση της ζωής και πειστικό επιχείρημα για χρηματοδοτήσεις (παράμετροι συμβατές με τις ευρύτερες πολιτικό-οικονομικές αντιλήψεις).

Έτσι, το ευρύτερο κοινό έχει την εντύπωση ότι ο γονιδιακός ντετερμινισμός είναι μια αλήθεια. Αυτό το βλέπουμε καθημερινά μέσα από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Πολύ συχνά ακούμε ότι ανακαλύπτεται ένα γονίδιο υπεύθυνο για κάποια ασθένεια. Έχουμε φτάσει στο σημείο να θεωρούμε ότι για τα πάντα ευθύνονται τα γονίδια –το γονίδιο της μανιοκατάθλιψης, του καρκίνου, της σεξουαλικότητας, της ομοφυλοφιλίας, κ.ο.κ.– με αποτέλεσμα να φοβόμαστε τα γονίδια, πιστεύοντας ότι μόνο ασθένειες μάς δίνουν. Έτσι όπως ορίζουμε τα γονίδια, είναι σαν να ορίζουμε τα όργανά μας με βάση τις ασθένειες που προκαλούν. Είναι δηλαδή σαν να λέμε ότι το συκώτι είναι το όργανο εκείνο που θα πάθει κίρρωση. Τέτοια αντιστοιχία υπάρχει.

Βεβαίως, τα γονίδια δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένα κομμάτι DNA που από μόνο του δεν είναι τίποτα. Θα έλεγα ότι πρόκειται για μια μοναχική μνήμη, η οποία μπορεί να ζωντανέψει μόνο όταν μπαίνει μέσα σε ένα κύτταρο. Ένας ακραίος ντετερμινιστής θα έλεγε ότι ουσιαστικά το DNA που μπαίνει μέσα στο κύτταρο το καταλαμβάνει, ενώ η αντίθετη άποψη θα υποστήριζε ότι τίθεται στην υπηρεσία του κυττάρου. Αυτές είναι οι δυο ακραίες εκφράσεις. Όπως θα δούμε παρακάτω, η αλήθεια βρίσκεται όπως πάντα κάπου στη μέση. Ας περάσουμε όμως στα γονίδια. Τα γονίδια δίνουν την πληροφορία για την κατασκευή των πρωτεϊνών, οι οποίες με τη σειρά τους επιφορτίζονται με κάποια λειτουργία, σε αντίθεση με τα γονίδια. Έτσι, οι πρωτεΐνες, μέσα σε ένα οργανικό περιβάλλον βιολογικής ιεραρχίας, βρίσκουν τη λειτουργία τους και ουσιαστικά συμμετέχουν σε όλους τους μηχανισμούς της ζωής.

ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΩΓΗ

Πριν 50 περίπου χρόνια, όταν ουσιαστικά τα γονίδια απέκτησαν μια σύσταση χημική, αυτή του DNA, η επιστήμη της Βιολογίας και ειδικότερα της Μοριακής Βιολογίας γνώρισε μια επανάσταση. Ο συνδυασμός αυτής της επανάστασης με αυτή που είχε γίνει και στη Φυσική 50 χρόνια νωρίτερα είχε ως αποτέλεσμα να οριστεί το γονίδιο «κβάντουμ της Βιολογίας». Η επιστήμη της Φυσικής εισέβαλε κυριολεκτικά στη Βιολογία όχι μόνο ιδεολογικά αλλά και πρακτι-

κά, καθώς επιστήμονες της Φυσικής μπήκαν στον χώρο της Βιολογίας. Ο Σρέντιγκερ έγραψε το –κλασικό– βιβλίο *Τι είναι ζωή*, που ήταν μια ακραία αναγωγική άποψη για τη ζωή. Επομένως, αυτή η αντίληψη επικράτησε και στη Μοριακή Βιολογία, η οποία αναπτύχθηκε εκείνη την εποχή και τελικά επικράτησε η ιδέα ότι όλα μπορούν να εξηγηθούν με την αναγωγή στα βιολογικά μόρια. Εν ολίγοις, ακόμα και οι πιο σύνθετες και πολύπλοκες εκδηλώσεις της ζωής μπορούν να εξηγηθούν απλά και μόνο χάρη στη Μοριακή Βιολογία και την αναγωγή της σε αυτή. Ένα αρνητικό αποτέλεσμα αυτής της εντατικής πορείας προς την αναγωγική Μοριακή Βιολογία ήταν ότι εγκαταλείφθηκε ένας παραδοσιακός κλάδος της Βιολογίας, η Κυτταρική Βιολογία, που ευτυχώς ανέκαμψε πολύ δυναμικά τα τελευταία 10 χρόνια. Εμείς οι βιολόγοι ανακαλύψαμε ξανά ότι όλα όσα αφαιρετικά μελετάμε βρίσκονται και λειτουργούν μέσα στο κύτταρο.

Στο ίδιο ιδεολογικό πλαίσιο εντάσσεται και ο θόρυβος γύρω από το πρόγραμμα του ανθρώπινου γονιδιώματος, που θεωρείται το μεγαλύτερο επιστημονικό εγχείρημα που συντελείται στις μέρες μας. Δεν θα διαφωνήσω, θα πω όμως ότι είναι τόσο σημαντικό όσο και η κατασκευή του μετρώ, της ζεύξης Ρίου–Αντιρρίου ή της σκεπής του Καλατράβα. Είναι δηλαδή ένα τεχνολογικό επίτευγμα που πραγματοποιήθηκε επειδή χρηματοδοτήθηκε αδρά. Όταν το ανθρώπινο γονιδίωμα αποκωδικοποιηθεί, θα γνωρίζουμε μονάχα τη γραμμική πληροφορία στο DNA. Από κει και πέρα θα χρειαστεί πολύς χρόνος για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε αυτήν την πληροφορία προκειμένου να εξάγουμε μερικά βασικά συμπεράσματα σχετικά με το τι είναι ζωή.

Η εκλογίκευση του προγράμματος του ανθρώπινου γονιδιώματος δημιούργησε επιπλέον προβλήματα. Τόσο οι επιστήμονες όσο και ο οικονομικός περίγυρος της επιστήμης δημιούργησαν την εντύπωση ότι το ανθρώπινο γονιδίωμα αρκεί για να μας οδηγήσει στην εξήγηση της ζωής. Χαρακτηριστικό είναι ότι όταν ο πρόεδρος Κλίντον ανακοίνωνε μαζί με τον Τόνι Μπλερ την αποκωδικοποίηση, το σχεδόν τελείωμα του ανθρώπινου γονιδιώματος πριν 1-2 χρόνια, είπε: «Σήμερα μαθαίνουμε τη γλώσσα που επέτρεψε στον Θεό να φτιάξει τη ζωή». Προσέξτε, είπε: «Επέτρεψε στον Θεό», που σημαίνει ότι στο μυαλό του το DNA ήταν τόσο σημαντικό που ουσιαστικά προϋπήρχε του Θεού, ήταν η

γλώσσα που επέτρεψε στον Θεό να φτιάξει τη ζωή. Η ρήση αυτή έχει σημειολογική σημασία αλλά δεν θέλω να επεκταθώ σε θεολογικά θέματα. Για τη λογική της βιομηχανίας, το χρήσιμο του ανθρώπινου γονιδιώματος δεν ήταν να μάθουμε τι είναι ζωή, αυτό ήταν δευτερεύον. Ζητούμενο ήταν να λυθεί το πρόβλημα της φαρμακοβιομηχανίας, που σήμερα βγάζει ελάχιστα φάρμακα τον χρόνο, ξοδεύει πολλά εκατομμύρια δολάρια και δυσκολεύεται να αναπτυχθεί, αν όχι και να επιβιώσει. Όταν μάλιστα ορισμένοι πιο τολμηροί επιστήμονες στον χώρο του ανθρώπινου γονιδιώματος ξεστόμισαν ότι το ανθρώπινο γονιδίωμα μπορεί να έχει μόνο 50 με 60 χιλιάδες γονίδια ξέσπασε πανικός στους κόλπους των επενδυτών, οι οποίοι θα προτιμούσαν να έχει 100-120 χιλιάδες γονίδια, όπως αρχικά είχε προβλεφτεί. Περισσότερα γονίδια, περισσότεροι στόχοι!

Έτσι, υπάρχει αφενός η πλευρά των επιστημόνων οι οποίοι φτάνουν σε απλουστεύσεις που τροφοδοτούν τον ντετερμινισμό προκειμένου να πετύχουν τη χρηματοδότηση της έρευνάς τους κι αφετέρου η βιομηχανία που θεωρεί ότι θα βοηθηθεί οικονομικά από τις μεσοπρόθεσμες ευκαιρίες που θα προσφέρει αυτού του τύπου η έρευνα. Όλη αυτή η λογική του ανθρώπινου γονιδιώματος βασίζεται στο ότι ακόμα και οι πιο πολύπλοκες ασθένειες –δεν μιλάω μόνο για τις μονογονιδιακές– μπορούν να αναχθούν στα γονίδια του ανθρώπινου γονιδιώματος, να γίνουν μερικές επιπρόσθετες μελέτες και τελικά οι φαρμακευτικοί στόχοι να πληθύνουν λογαριθμικά. Θα δημιουργηθούν έτσι οι προϋποθέσεις για προσωπικές θεραπείες, κ.λπ. Όλα αυτά τα έχουμε ακούσει κατά καιρούς. Δεν θέλω να τα αμφισβητήσω, απλώς θέλω να τα θέσω επί τη βάση μιας προοπτικής εγγύτερης στην αλήθεια, ικανής να διαλύσει ψευδαισθήσεις.

Θέλω να φέρω ένα παράδειγμα που μπορεί να ακουστεί λίγο ακραίο αλλά απηχεί την πραγματικότητα. Πιστεύουμε ότι η γνώση του ανθρώπινου γονιδιώματος θα λύσει όλα τα προβλήματα της υγείας, τη στιγμή που η αλληλουχία του γενετικού υλικού του μικρού ιού του AIDS είναι γνωστή εδώ και 15-20 χρόνια χωρίς όμως να έχει βρεθεί ακόμη θεραπεία. Ανεξάρτητα από την πεποίθησή μου ότι θα βρεθεί, θέλω να δείξω πως τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά.

ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΓΟΝΙΔΙΩΜΑ ΚΑΙ Η ΑΠΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΜΦΙΣΒΗΤΗΣΗΣ

Δεν είναι περιέργο λοιπόν ότι όταν ολοκληρώθηκε το γονιδίωμα και μάθαμε ότι τα γονίδια είναι μόνο 30 χιλιάδες υπήρξε τεράστια έκπληξη. Μα πώς είναι δυνατόν 30 χιλιάδες γονίδια, τι λεγόταν τόσο καιρό; Δηλαδή ο άνθρωπος είναι μόνο κατά 10 χιλιάδες γονίδια ανώτερος από το σκουλήκι που έχει 20 χιλιάδες γονίδια; Ή τα 300 διαφορετικά γονίδια που έχει ο άνθρωπος από το ποντίκι αρκούν για να εξηγήσουν την τεράστια διαφορά στην πολυπλοκότητα των δύο αυτών οργανισμών, και κυρίως τη νοητική πολυπλοκότητα;

Ο ακραίος γονιδιακός ντετερμινισμός άρχισε να καταρρέει, και μάλιστα μέσα από τον στόχο που μόνος του έθεσε. Ο ίδιος ο Βέντερ, ένας από τους πρωτεργάτες του ανθρώπινου γονιδιώματος και ο άνθρωπος που μέσα από τον ιδιωτικό τομέα μπόρεσε να ολοκληρώσει αυτή την προσπάθεια, είπε ότι τελικά αποκαλύπτοντας το ανθρώπινο γονιδίωμα οδηγούμαστε στην αποφυγή δύο θεμελιωδών λαθών: του ντετερμινισμού και της αναγωγής. Ο ίδιος δήλωσε ότι θα πρέπει να ψάξουμε αλλού για τους μηχανισμούς που δημιουργούν την πολυπλοκότητα στη ζωή κι όχι απλά στην καταγραφή των γονιδίων. Και άλλοι επιστήμονες βεβαίως το έχουν πει ευθέως, δεν πρόκειται για κάτι καινούργιο. Θεωρώ ότι το πίστευαν και πριν, απλώς τώρα πια είναι όλοι αναγκασμένοι να το παραδεχθούν.

Έτσι λοιπόν καταλήξαμε στο ότι ο ανθρώπινος οργανισμός έχει περίπου 30 χιλιάδες γονίδια. Παρεμπιπτόντως, υπάρχουν αιτήσεις για διπλώματα ευρεσιτεχνίας που αφορούν 150 χιλιάδες ανθρώπινα γονίδια, ένα νούμερο που δεν θέλω να σχολιάσω παραπέρα.

Τώρα ομολογήθηκε κάτι το οποίο ξέραμε ανέκαθεν, ότι βρισκόμαστε απλώς στην αρχή ενός μεγάλου εγχειρήματος. Δηλαδή η ολοκλήρωση του ανθρώπινου γονιδιώματος ουσιαστικά μας επιτρέπει να αρχίσουμε πολύ σημαντικότερες έρευνες· δεν είναι επ' ουδενί το τέλος, όπως τουλάχιστον οι τίτλοι των εφημερίδων άφησαν να φανεί όταν ανακοινώθηκε το ανθρώπινο γονιδίωμα πριν ένα-ενάμιση χρόνο.

Η ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ

Ας δούμε τώρα διάφορα προβλήματα που παρουσιάζουν αυτές οι ακραίες αναγωγικές και ντετερμινιστικές απόψεις. Κατ' αρχάς, όσον αφορά τις ασθένειες, ξέρουμε ότι μόλις το 2% των ασθενειών που εκδηλώνει ο άνθρωπος οφείλονται σε ένα ή το πολύ δύο γονίδια. Οι περισσότερες ασθένειες είναι πολυπαραγοντικές, πολυγονιδιακές, δηλαδή πολλά γονίδια μαζί αλλά και το περιβάλλον συνεισφέρουν στο να εκδηλωθεί ή όχι μια ασθένεια.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μονογονιδιακές ασθένειες, για τις οποίες γνωρίζουμε ποιο γονίδιο ευθύνεται. Παρόλο που γνωρίζουμε την αλληλουχία του γονιδίου και την πρωτεΐνη, δεν έχουμε ακόμα αναπτύξει θεραπεία για τις περισσότερες από αυτές. Θέλω να πω ότι ο χρόνος μεταξύ της ανακάλυψης και της εφαρμογής είναι αρκετά μεγαλύτερος από ό,τι πιστεύεται. Αναμφίβολα, έχει αυξηθεί πολύ η δυνατότητά μας να προβλέπουμε και να κάνουμε προγενετικούς ελέγχους και απλούς διαγνωστικούς ελέγχους. Το ερώτημα βέβαια είναι τι ακριβώς μπορούμε να διαγνώσουμε.

Είναι σημαντικό να ξέρουμε ότι ακόμα και μονογονιδιακές ασθένειες τελικά δεν είναι μονογονιδιακές. Κλασικό παράδειγμα είναι η περίπτωση της δρεπανοκυτταρικής αναιμίας, η οποία οφείλεται σε μια μεταλλαγή του γονιδίου της αιμοσφαιρίνης που οδηγεί σε αναιμία, σε πολύ δραματικά συμπτώματα έλλειψης οξυγόνωσης και τέλος στον θάνατο. Κι όμως αυτή η μονογονιδιακή ασθένεια είναι πολυπαραγοντική. Αν ο φορέας ζει στην Αφρική είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα πεθάνει όταν είναι ομοζυγώτης, ενώ αν κατάγεται από την Ινδία δεν θα πεθάνει ούτε καν θα παρουσιάσει συμπτώματα. Επομένως, υπάρχει ένα στοιχείο στο γονιδίωμα των ανθρώπων στην Αφρική ή στην Ινδία που ουσιαστικά επιτρέπει την εκδήλωση ή μη αυτής της ασθένειας, η οποία οφείλεται σε ένα γονίδιο.

Το ίδιο ισχύει και για την κυστική ίνωση, για την οποία επίσης γνωρίζουμε ποιο είναι το γονίδιο το οποίο την προκαλεί. Είναι τελείως έμμεσα τα αποτελέσματα της βλάβης του γονιδίου όσον αφορά την εκδήλωση της ασθένειας και

το αν θα εκδηλωθεί στην πλήρη ή τη μερική της μορφή, με αναπνευστικά προβλήματα, προβλήματα στο πάγκρεας ή άλλου· σχετίζεται με το σύνολο των ιδιαιτέρων γονιδίων του κάθε ανθρώπου. Επομένως, παρόλο που η ασθένεια οφείλεται σε ένα γονίδιο, στην ουσία είναι κι αυτή πολυπαραγοντική. Βεβαίως, υπάρχουν και παραδείγματα όπου οι ασθένειες είναι 100% μονογονιδιακές και δεν υπάρχει καμία άλλη –περιβαλλοντολογική ή γονιδιακή– συνεισφορά. Αλλά αυτές είναι οι εξαιρέσεις.

Δεν έχω πολλά να πω αναφορικά με τις πολυπαραγοντικές ασθένειες, γιατί λίγα γνωρίζουμε. Γίνεται μια προσπάθεια να καταλάβουμε, να βρούμε όλους τους παράγοντες που προκαλούν μια ασθένεια. Είναι προφανές ότι το περιβάλλον παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση πολυπαραγοντικών ασθενειών, ότι κάθε γονίδιο που εμπλέκεται ή «ενοχοποιείται» έχει μια μικρή συνεισφορά που από μόνη της ίσως να μην είναι αντιληπτή, αλλά τελικά εκδηλώνεται μέσα από το σύνολο του γονιδιώματος του συγκεκριμένου ατόμου και της επίδρασης του περιβάλλοντος.

Παρενθετικά, θα ήθελα να πω ότι ο ένας άνθρωπος διαφέρει από τον άλλον τουλάχιστον σε ένα εκατομμύριο μέρη. Ουσιαστικά, κάθε γονίδιό μας είναι διαφορετικό από του διπλανού μας. Η ατομικότητα του γονιδιακού υλικού είναι άρα γεγονός. Επομένως, αυτή η ατομικότητα σε συνδυασμό με το περιβάλλον καθορίζει αν μια συγκεκριμένη μορφή ενός γονιδίου θα εκδηλώσει ή όχι μια ασθένεια. Σε τελευταία ανάλυση, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι αν αυτές οι περίφημες προδιαθέσεις εντοπιστούν, το καλύτερο που έχει να μας πει ένας γιατρός είναι τι να προσέχουμε σε σχέση με το περιβάλλον κι όχι σε σχέση με τα γονιδιά μας. Αν, λόγου χάρη, διαπιστώσει ότι έχουμε τάση για υψηλή πίεση, θα πρέπει να κάνουμε τέτοια ζωή ώστε να μην εκδηλώσουμε ποτέ αυτή την υψηλή πίεση.

Η ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟΨΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Θα ήθελα να αναφέρω μερικά παραδείγματα από ερευνητικά δεδομένα, τα οποία είναι σημαντικά για να καταλάβουμε τη φύση των γονιδίων. Υπάρχει μια

διαδικασία στη Βιολογία με την οποία μπορεί κανείς να προκαλέσει μεταλλάξεις σε οποιοδήποτε γονίδιο ενός πειραματόζωου, να αφαιρέσει δηλαδή γονίδια και να δει τι αποτέλεσμα έχει στον οργανισμό αυτή η αφαίρεση. Πρόκειται για μια κλασική γενετική προσέγγιση. Είχαμε πάρα πολλές εκπλήξεις όταν ξεκίνησε η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας. Είχαμε κάποια δεδομένα από πειράματα σε δοκιμαστικούς σωλήνες ή σε απομονωμένα κύτταρα, τα οποία οδηγούσαν σε ορισμένα συμπεράσματα για συγκεκριμένα γονίδια, σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα ο ρόλος αυτών των γονιδίων φαινόταν τόσο καίριος που ήταν σχεδόν προβλέψιμο ότι η αφαίρεσή του από έναν ζωντανό οργανισμό θα προκαλέσει θάνατο ή τουλάχιστον σοβαρά προβλήματα. Κι όμως, τις περισσότερες φορές ο οργανισμός επιβίωνε χωρίς εμφανή προβλήματα.

Άλλη πρόβλεψη ήταν ότι θα προκαλέσει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. Ξέραμε ότι, παραδείγματος χάριν, ο υποδοχέας της διοξίνης βρίσκεται στο συκώτι και όταν αφαιρεθεί υπάρχει πρόβλημα με την αποτοξίνωση αυτής της ουσίας. Κι όμως –προς μεγάλη μας έκπληξη– η αφαίρεση του υποδοχέα αυτού δημιουργούσε πρόβλημα στο συκώτι αλλά και στο ανοσοποιητικό σύστημα. Αρχίσανε δηλαδή να αποκαλύπτονται πολλά πράγματα για τα γονίδια, τα οποία δεν είχαν –τουλάχιστον σε πιο πολύπλοκα συστήματα– μέχρι εκείνη τη στιγμή διαπιστωθεί.

Ακόμα, υπήρχαν και πολύ απογοητευτικές καταστάσεις όπου γονίδια για τα οποία είχαν αφιερωθεί πολύ μελάνι και ερευνητική δουλειά τελικά δεν είχαν κανένα φαινότυπο στα ποντίκια. Φανταστείτε τον ερευνητή, ο οποίος για να κάνει αυτή τη δουλειά χρειάστηκε πολύ κόπο και αρκετά χρήματα, να καταλήξει τελικά να πει ότι το «γονίδιό του» δεν κάνει τίποτα. Εξαιρετικά εσφαλμένη απογοήτευση, βεβαίως, γιατί αν δεν έκανε τίποτε, η φυσική επιλογή θα το είχε εξαφανίσει.

Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνουν αυτά είναι πολλοί, αλλά δύο είναι οι κύριοι. Ο πρώτος έχει να κάνει με το γεγονός ότι το γονιδιώμά μας, όπως και άλλων οργανισμών, είναι πολλαπλώς διπλασιασμένο. Υπάρχουν δηλαδή πολλαπλά αντίγραφα γονιδίων τα οποία έχουν διαφοροποιηθεί λίγο, γιατί αλλιώς θα αφανίζονταν μέσω της φυσικής επιλογής. Εκτελούν λίγο διαφοροποιημένες

λειτουργίες αλλά μπορούν να αντικαταστήσουν και γονίδια που λείπουν. Ο δεύτερος είναι ότι υπάρχει μια συμπληρωματικότητα που οφείλεται στο ότι άλλες διεργασίες μπορούν να καλύψουν την έλλειψη που έχουμε προκαλέσει. Επομένως, το γονιδίωμα δεν είναι κάτι πολύ σκληρό που όταν αφαιρέσεις ένα συστατικό του θα καταστραφεί ή ο οργανισμός που θα προκύψει θα έχει σοβαρά προβλήματα. Περισσότερο μοιάζει με ένα ρυθμιστικό διάλυμα, καθώς υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης, κάλυψης και αλληλοκάλυψης. Υπάρχει δηλαδή ένα φιλικό περιβάλλον γονιδίων που προσπαθούν να αλληλοκαλυφθούν προκειμένου ο οργανισμός να μπορέσει να επιβιώσει.

Γενικότερα, τα πειράματα με τα ποντίκια έδειξαν ότι δεν γίνεται να ορίσουμε για πολλά γονίδια μία και μόνο λειτουργία. Τα περισσότερα γονίδια και τα περισσότερα στοιχεία που εξετάζουμε ακόμα και σε απλούς οργανισμούς είναι πλειτροπικά, δηλαδή έχουν πολλούς φαινοτύπους, πράγμα που αρχίσαμε να ανακαλύπτουμε πρόσφατα.

Ένα πρόβλημα για το οποίο εμείς ευθυνόμαστε, για τον ακραίο αναγωγισμό, είναι ότι μελετάμε συνήθως πράγματα ή συστήματα τα οποία είναι 0 ή 1. Δεν μας αρέσει να μελετάμε ενδιάμεσες καταστάσεις, ίσως δεν έχουμε ή δεν είχαμε και την τεχνολογία ώστε να τις μελετήσουμε. Οπότε εξετάζουμε ακραίες καταστάσεις και σε αυτές μπορούμε να κάνουμε μια αναγωγή. Όταν όμως αρχίζει το πράγμα να γίνεται λίγο πιο πολύπλοκο, να υπεισέρχονται ποσοτικά στοιχεία αλλά και ενδιάμεσες καταστάσεις, τότε πραγματικά βρισκόμαστε σε αδιέξοδο και πρέπει να επινοήσουμε άλλους τρόπους για να εξηγήσουμε τις καταστάσεις αυτές. Εξαρτάται καθαρά πια από μας, και ως ένα βαθμό και από την κοινωνία με την έννοια της χρηματοδότησης, αν θα προχωρήσουμε με επιτυχία προς αυτές τις κατευθύνσεις.

Έχω στις σημειώσεις μου μια ενδιαφέρουσα μελέτη που επιβεβαιώνει τα παραπάνω και αφορά ένα από τα πιο καλά μελετημένα γονίδια, το οποίο ονομάζεται «φορ». Όταν αφαιρέθηκε μια μορφή του «φορ» δεν υπήρχε κανένας φαινότυπος, δηλαδή τα ποντίκια γεννιόντουσαν υγιέστατα αλλά πέθαιναν πάρα πολύ γρήγορα. Και ο λόγος που πέθαιναν γρήγορα ήταν γιατί η μητέρα τους

είχε χάσει το μητρικό της ένστικτο. Δεν τα περιέθαλπε και επομένως τα ποντικά πέθαιναν. Όταν έγινε αυτή η ανακάλυψη, οι εφημερίδες έγραψαν για το «γονίδιο της μητρότητας». Όταν βέβαια το όλο θέμα μελετήθηκε λεπτομερώς, διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει ένα γονίδιο αλλά πάρα πολλά γονίδια μητρότητας και ότι η μητρότητα καθορίζεται από ένα πολύπλοκο σύστημα στον υποθάλαμο, για το οποίο ευθύνονται πολλοί παράγοντες –γονίδια και περιβάλλον– καθώς επίσης και πολλοί συνδυασμοί.

Αυτό μας φέρνει στο θέμα των πιο πολύπλοκων διεργασιών που σχετίζονται με τη συμπεριφορά. Έχουν γίνει άπειρες συζητήσεις για γονίδια συμπεριφοράς και για ντετερμινισμό ή όχι στη συμπεριφορά. Δεν θέλω να επεκταθώ αλλά ως πειραματιστής θέλω να πω ότι τα πειράματά μας πάσχουν από διάφορα προβλήματα. Για παράδειγμα, σε πειραματόζωα δεν μπορείς να ορίσεις εύκολα κάποιες συμπεριφορές ή τις ορίζεις αρκετά υποκειμενικά. Όταν, λόγω χάρη, έγινε το πείραμα της αφαίρεσης γονιδίων που σχετίζονται με την σύνθεση προσαγλανδινών στο ποντίκι, ορμόνες που έχουν να κάνουν με την ομοιόσταση (που μάλιστα είναι ο φαρμακευτικός στόχος της ασπιρίνης), δεν υπήρχε κανένας φαινότυπος στο ποντίκι ούτε βεβαίως και η δυνατότητα να μάθουμε αν το ποντίκι είχε πονοκέφαλο.

Ωστόσο, μερικοί ισχυρίζονται ότι υπάρχει τρόπος να ξετάσει κανείς τη γενετική της συμπεριφοράς ενώ άλλοι τη μάχονται. Δεν μπορώ αυτή τη στιγμή να πάρω θέση, το θέμα για μένα είναι ακόμη ανοικτό. Ακόμα πιο ανοικτό είναι για τον άνθρωπο, όπου ο πειραματισμός είναι αδύνατος και μόνο υποκειμενικούς συσχετισμούς μπορούμε να κάνουμε.

Ο κίνδυνος που δημιουργείται για την κοινωνία από τη γενετική της συμπεριφοράς φαίνεται στους λαϊκούς προσδιορισμούς «φύσει εγκληματικός» ή «φύσει προβληματικός». Αυτού του τύπου ο αποκλεισμός δημιουργεί το κυριότερο πρόβλημα για την κοινωνία. Φυσικά το θέμα είναι γνωστό και δεν θα επεκταθώ περισσότερο.

ΑΝ ΟΧΙ ΓΟΝΙΔΙΑΚΟΣ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ, ΤΟΤΕ ΤΙ;

Αν όσα ειπώθηκαν μας πείθουν ότι ο ακραίος γονιδιακός ντετερμινισμός δεν είναι ικανός να ερμηνεύσει τη ζωή, ας δούμε τι μπορεί να το κάνει. Επαναλαμβάνω ότι δεν παίρνω θέση στο ότι τα γονίδια δεν παίζουν κανένα ρόλο. Ουσιαστικά, μέχρι στιγμής, βασανιζόμαστε από δύο ακρότητες: γονίδια-περιβάλλον. Υπάρχει όμως και ο ενδιάμεσος δρόμος: κάποια συμμετοχή έχουν τα γονίδια και κάποια το περιβάλλον.

Ένα τρίτο πρόσθετο στοιχείο που αναδύεται και πιθανώς συμπληρώνει αυτή την εικόνα είναι αυτό το οποίο μπορεί να ονομάσει κανείς «γενετικά οριοθετημένο μη-ντετερμινισμό», που σημαίνει ότι υπάρχουν τα γονίδια αλλά είναι απρόβλεπτο τι θα προκύψει.

Ένα παράδειγμα μέσα από το οποίο μπορούμε να καταλάβουμε τι είναι αυτό το καινούργιο συστατικό είναι το ανοσοποιητικό σύστημα, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο ο οργανισμός μας απαντά στις ξένες πρωτεΐνες, στα ξένα σώματα, και προσπαθεί να τα αποβάλει. Αυτό εκδηλώνεται κυρίως μέσω της δημιουργίας πρωτεϊνών (αντισώματα) εξειδικευμένων να καταπολεμήσουν τη συγκεκριμένη προσβολή. Υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός γονιδίων που καθορίζουν τμήματα αυτών των αντισωμάτων και η δημιουργία ενός συγκεκριμένου αντισώματος είναι συνδυαστική μέσα από την τυχαία συρραφή αυτών των γονιδίων. Δεν μπορούμε να προβλέψουμε ποια κομμάτια και ποια γονίδια θα συνδυαστούν. Επιβεβαίωση αυτού είναι ότι μονογονείς δίδυμοι θα παράγουν διαφορετικό αντίσωμα για την ίδια προσβολή.

Επομένως, θα μπορούσε κανείς να θεωρήσει ότι υπάρχει κάποιο συστατικό γονιδιακού ντετερμινισμού για μερικά πράγματα, υπάρχει το περιβάλλον και αυτός ο γενετικά-γονιδιακά οριοθετημένος μη ντετερμινισμός, παράγοντες που καθορίζουν τελικά τη ζωή. Τα γονίδια είναι όπως οι παίκτες μιας ομάδας: χωρίς παίκτες δεν γίνεται τίποτα, αλλά είναι απρόβλεπτο ποιο πλάνο και ποιος τρόπος παιχνιδιού θα αναπτυχθεί. Υπάρχουν πολλές δυνατότητες και δεν μπορούμε να προβλέψουμε τι ακριβώς θα γίνει.

Ένα τέταρτο συστατικό, το οποίο τώρα αρχίζουμε να μελετάμε, βασίζεται στο γεγονός ότι οι πρωτεΐνες, που είναι το αποτέλεσμα, το προϊόν των γονι-

δίων, δρουν μέσα στο κύτταρο κι όχι ανεξάρτητα από αυτό ενώ έρχονται να δράσουν σε μια βιολογικά ιεραρχημένη κατάσταση. Επ' ουδενί δεν θέλω να εισάγω τον βιταλισμό σε αυτή την άποψη· είναι απλώς μια πραγματικότητα. Η πρωτεΐνη θα δράσει επειδή αλληλεπιδρά με άλλες πρωτεΐνες. Συνεπώς, υπάρχει μια μοριακή οργάνωση των πρωτεϊνών. Πέρα από τη μοριακή οργάνωση, αυτές οι πρωτεΐνες οργανώνονται μέσα στο κύτταρο, σε υποκυτάρια συστατικά κι όλες μαζί φτιάχνουν το κύτταρο. Το κύτταρο οργανώνεται σε ιστούς, οι ιστοί οργανώνονται σε όργανα, τα όργανα σε οργανισμούς και οι οργανισμοί σε πληθυσμούς. Υπάρχει συνεπώς μια βιολογική ιεραρχία μέσα από την οποία καλείται να δράσει η πρωτεΐνη.

Ουσιαστικά πιστεύω ότι η γνώση που έχουμε σήμερα μας επιτρέπει εύκολα να περάσουμε από τον φαινότυπο, δηλαδή τον οργανισμό, στα γονίδια τα οποία προκαλούν αυτό τον φαινότυπο, ακολουθώντας τη βιολογική ιεραρχία, ενώ αντίθετο είναι αδύνατο. Όταν το καταφέρουμε θα έχουμε καταλάβει τη ζωή.

Πιθανώς έχετε ήδη ακούσει ότι ο απώτερος στόχος του ανθρώπινου γονιδιώματος –το οποίο εγώ δεν θα αποκαλούσα απώτερο στόχο, θα έλεγα ότι το ανθρώπινο γονιδίωμα μάς δίνει τη δυνατότητα να οδηγηθούμε προς αυτό τον δρόμο– είναι να κατατάξουμε τις πρωτεΐνες και να καταγράψουμε την οργάνωσή τους σε ιεραρχικές ομάδες, δηλαδή σε αυτό που λέμε αλληλεπιδρούσες πρωτεΐνες, οι οποίες καθορίζουν συγκεκριμένες λειτουργίες μέσα στο κύτταρο. Αυτή η μεσόφαση παίρνει ερεθίσματα από το περιβάλλον, τα επιστρέφει και επίσης δημιουργεί τις δυνατότητες στα γονίδια να εκφράσουν τον εαυτό τους. Ο χώρος αυτός παραμένει ακόμη ανεξερεύνητος, γι' αυτό δεν μπορώ για τίποτα να είμαι κατηγορηματικός. Είναι όμως πράγματι ένας επιστημονικός στόχος αυτή τη στιγμή που ίσως μας δώσει πολύ πιο ολοκληρωμένες εικόνες σχετικά με το τι είναι ζωή.

Το θετικό είναι ότι αυτή η άποψη αρχίζει να μελετάται επιστημονικά. Η Βιολογία συστημάτων και η διεπιστημονική Βιολογία είναι οι νέοι κλάδοι που αναπτύσσονται. Αυτή η νέα Βιολογία αρχίζει να αναπτύσσεται και πιστεύω ότι μέσα από την ανάπτυξή της ίσως καταλάβουμε καλύτερα αν υπάρχει κάτι που μας προκαθορίζει, ποιο είναι αυτό και σε ποιο βαθμό το κάνει.

Αυτό είναι πολύ σημαντικό αλλά κρύβει παγίδες. Λένε οι επιστήμονες, πάλι αναγωγικά, ότι αν καταλάβουμε πώς οργανώνονται και αλληλεπιδρούν όλες οι πρωτεΐνες μέσα σε ένα κύτταρο, τότε θα καταλάβουμε το κύτταρο. Νομίζω ότι αυτή είναι επίσης μια αναγωγική άποψη που δεν θα μας οδηγήσει στην πλήρη κατανόηση και γι' αυτό έχουμε πάρα πολλές πειραματικές ενδείξεις. Σε πολλές περιπτώσεις ξέρουμε πώς οι πρωτεΐνες αλληλεπιδρούν με άλλες πρωτεΐνες χωρίς αυτό να σημαίνει ότι ξέρουμε πραγματικά τι σημαίνει αυτή η αλληλεπίδραση. Επομένως, μπορεί να φτάσουμε σε έναν χώρο μοριακών αλληλεπιδράσεων αλλά θα έχουμε κατακτήσει μόνο το επίπεδο της βιολογικής οργάνωσης. Θα πρέπει να πάμε παραπέρα, στο κύτταρο, στον ιστό, στο όργανο και στον οργανισμό. Πιστεύω ότι μέσα από αυτή την πορεία θα βγούμε από το σημερινό αδιέξοδο.

Ο ΓΟΝΙΔΙΑΚΟΣ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΜΟΣ ΔΕΣΠΟΖΕΙ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΜΦΙΣΒΗΤΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Θέλω να καταλήξω εντοπίζοντας προεκτάσεις του γονιδιακού ντετερμινισμού. Έχετε ακούσει για κλωνοποιήσεις, για γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα, όλα όσα –καλώς ή κακώς– μας απασχολούν. Το ενδιαφέρον είναι ότι και οι δύο πλευρές, και οι πολέμιοι των γενετικά τροποποιημένων τροφίμων ή της κλωνοποίησης και οι υπέρμαχοι των γενετικά τροποποιημένων οργανισμών, χρησιμοποιούν τον γονιδιακό ντετερμινισμό για τα επιχειρήματά τους, πράγμα κατά τη γνώμη μου εξίσου επικίνδυνο.

Υπάρχουν χίλιοι δυο λόγοι για τους οποίους παρουσιάζουν πρόβλημα τα γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα αλλά δεν συντρέχει κανένας λόγος να φοβόμαστε επειδή ένα γονίδιο θα μπει σε ένα φυτό και θα επιφέρει, όπως λένε, τεράστια ανισορροπία και απρόβλεπτες καταστάσεις. Αυτό είναι γονιδιακός ντετερμινισμός και νομίζω ότι δεν προσφέρει σοβαρά επιχειρήματα. Ουσιαστικά, και η πλευρά βεβαίως όσων είναι υπέρ των γενετικά τροποποιημένων είναι εξίσου απλοϊκή, καθώς πιστεύουν ότι βάζοντας ένα γονίδιο θα καταφέρουν να αλλάξουν σταθερά τις ιδιότητες του φυτού αυτού. Είναι το ίδιο ακραία αυτή η θέση όπως και ο τρόμος που μας καταλαμβάνει όταν εισάγουμε κατά βούληση γονίδια.

Στο ανθρώπινο γονιδίωμα έχουν βρεθεί 150 τουλάχιστον βακτηριακά γονίδια. Αυτά τα γονίδια δεν προήλθαν προφανώς από την εξέλιξη (σταθεροποιήθηκαν από την εξέλιξη αλλά δεν προήλθαν από μια διαδικασία της λογικής μέσα στο είδος)· προήλθαν από εισβολή στο είδος. Αυτά τα γονίδια κρατήθηκαν, η εξέλιξη τα κράτησε και προφανώς δεν έχουν κανένα πρόβλημα οι άνθρωποι που τα έχουν. Τα βακτηριακά γονίδια ήταν εύκολο να ταυτοποιηθούν. Πιστεύω ότι υπάρχουν και πάρα πολλά άλλα γονίδια από μύκητες, από άλλους οργανισμούς, τα οποία έχουν περάσει στον άνθρωπο και είναι πολύ δυσκολότερο να ταυτοποιηθούν γιατί εκεί δεν μπορούμε να εντοπίσουμε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Επομένως, μπορεί να υπάρχουν πάρα πολλά γονίδια τα οποία έχουν εισβάλει στον άνθρωπο από αλλού. Αυτή η εισβολή δεν φαίνεται να έχει βλάβει. Έχει περάσει μέσα από τη φυσική επιλογή, από την οποία θα περάσουν και οι εφαρμογές που κάνει ο άνθρωπος, και είτε θα εγκαταλειφθούν είτε θα διατηρηθούν.

Θα ήθελα να τελειώσω με μια ιστορική διάσταση του θέματος. Εκτιμώ ιδιαίτερα τον γενεπιστή Ρίτσαρντ Λιούντιν. Αν θέλετε να μάθετε πολύ περισσότερα σε σχέση με αυτά που σας είπα, σας συνιστώ να διαβάσετε τα βιβλία του που έχουν κυκλοφορήσει και στα ελληνικά. Σε ένα βιβλίο του αναφέρει ένα ωραίο παράδειγμα, που μας υπενθυμίζει πόσο παλιά είναι η ιδέα του γονιδιακού ντετερμινισμού, παλαιότερη κι από την έννοια του γονιδίου. Τη βρίσκουμε στον Ντίκενς. Όταν ο Όλιβερ Τουίσι το έσκασε από το ορφανοτροφείο, πήγε στο Λονδίνο και έπιασε φίλιες με έναν αλήτη, ο οποίος επίσης το είχε σκάσει από ορφανοτροφείο. Αυτός ο αλήτης χρησιμοποιούσε αισχρή γλώσσα και φρασεολογία του δρόμου ενώ ο Όλιβερ Τουίσι, αν και είχε μεγαλώσει σε παρόμοιο περιβάλλον με τον αλήτη, μιλούσε με οξφορδιανή προφορά. Ο λόγος, όπως τον ανακαλύπτει κανείς λίγο αργότερα στο βιβλίο, ήταν ότι οι γονείς του Όλιβερ Τουίσι ήταν αριστοκράτες. Επομένως, ήταν προκαθορισμένο να μιλάει σαν ευγενής.

Γενετική τύχη ή εξελικτική αναγκαιότητα;

Στάθης Γκόνος

*Διευθυντής Ερευνών του
Ινστιτούτου Βιολογικών Ερευνών
και Βιοτεχνολογίας/ΕΙΕ*

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι η Βιολογία, η Μοριακή Βιολογία, η Γενετική μάς βομβαρδίζουν με επιτεύγματα, με πληθώρα νέων καταστάσεων που ίσως η ανθρωπότητα και η πολιτεία δεν είναι ακόμη έτοιμες να κατανοήσουν και να αντιμετωπίσουν.

Ο κ. Θηραΐος αναφέρθηκε στην αποκρυπτογράφηση του ανθρώπινου γενετικού υλικού, που έφερε στον νου μας τα θέματα σχετικά με την κλωνοποίηση. Σας θυμίζω την πρόσφατη εξαγγελία Αμερικανών επιστημόνων και της αμερικάνικης κυβέρνησης για τη δημιουργία μονοκύτταρου οργανισμού –του μυκοπλάσματος– χρησιμοποιώντας τεχνητό χρωμόσωμα.

Υπάρχουν, βεβαίως, καιρό τώρα γενετικά τροποποιημένοι οργανισμοί, οι οποίοι παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Πολύ σύντομα, όμως, θα κληθούμε να αντιμετωπίσουμε άλλα ερωτήματα, όπως το θέμα της γονιδιακής θεραπείας και, φυσικά, της χρήσης πολυδύναμων κλωνοποιημένων κυττάρων για καθαρά θεραπευτικούς σκοπούς.

Δεν θα ήθελα να αναφερθώ εκτενώς σε όλες τις εφαρμογές των επιλεγόμενων βιοϊατρικών επιστημών ούτε στο κατά πόσο θα βελτιώσουν ή όχι την καθημερινή μας ζωή· προτιμώ να εξετάσω τις προκείμενες επιστήμες από μια διαφορετική οπτική γωνία, και συγκεκριμένα από το πρίσμα μέσα από το οποίο αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο. Ακριβώς αυτή τη σκοπιά ενδιαφέρεται να καλύψει η παρούσα εκδήλωση στο πλαίσιο των τεσσάρων ημερίδων. Θα ήθελα λοιπόν να αναφέρω αρχικά κάποια παραδείγματα που δείχνουν κατά πόσο διάφορα φαινόμενα στη ζωή, όπως τα μελετάμε οι ερευνητές στο εργαστήριο, σχετίζονται με αυτό που πολύ εύστοχα ο κ. Θηραίος ονόμασε γονιδιακό ή μη ντετερμινισμό.

Το πρώτο παράδειγμα είναι το κατ' εξοχήν αγαπημένο μου παράδειγμα. Πρόκειται για τη γήρανση, το θέμα με το οποίο ασχολούμαστε στο εργαστήριο του Ινστιτούτου Βιολογικών Ερευνών και Βιοτεχνολογίας του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών. Παραπέμπω πρωτίστως σε αυτό, διότι είναι μια φυσιολογική και αναπόφευκτη βιολογική διαδικασία. Δεν είναι ασθένεια· η γήρανση και ο θάνατος είναι αναπόφευκτα και οικουμενικά γεγονότα για κάθε μορφή ζωής. Το ερώτημα είναι: Αυτό το αναπόδραστο φαινόμενο είναι τελικά γενετικά προκαθορισμένο ή όχι;

Παρότι έχουν βρεθεί μηχανισμοί (φερ' ειπείν μετράνε τον χρόνο μέσα στα κύτταρα), αυτό το οποίο ονομάζουμε «βιολογικό ρολόι» είναι, για όσους προφανώς γνωρίζουν, τα «τελομερή» που ελαττώνονται με την πάροδο της ηλικίας. Μελέτες σε κατώτερους ευκαρυωτικούς οργανισμούς έχουν ταυτοποιήσει γονίδια τα οποία ενέχονται στη γήρανση όσο και στη μακροβιότητα. Αυτό συνεπάγεται ότι, αν επιδράσουμε σε αυτά τα γονίδια, μπορούμε να επιμηκύνουμε ή να συντομεύσουμε τον χρόνο ζωής κατώτερων ευκαρυωτικών οργανισμών – για παράδειγμα σκουλήκι, μύγα, μαγιά.

Όσο προχωρούμε σε αυτή την εξελικτική διαδικασία και βάσει των κατώτερων ευκαρυωτικών μηχανισμών, σιγά-σιγά προσπαθούμε να κατανοήσουμε τι συμβαίνει στον άνθρωπο, διαπιστώνουμε ότι τα πράγματα περιπλέκονται, ακόμα και σε αυτά τα γενετικά προκαθορισμένα μονοπάτια. Ενώ, για παράδειγμα, στο σκουλήκι αναγνωρίζουμε μια σειρά από γονίδια τα οποία επηρεάζουν τη

διάρκεια ζωής του συγκεκριμένου οργανισμού, τα ίδια γονίδια στον άνθρωπο δεν έχουν φαινότυπο. Κι αυτό συμβαίνει, όσο ξέρουμε μέχρι στιγμής τουλάχιστον, γιατί απλούστατα καθώς ανεβαίνουμε στην εξελικτική διαδικασία τόσο οι καταστάσεις καθίστανται ολοένα και πιο πολύπλοκες.

Από την άλλη, ξέρουμε ότι μια σειρά περιβαλλοντικών παραγόντων επηρεάζουν αυτές τις διαδικασίες. Είναι γνωστό ότι ορισμένοι παράγοντες –υπεριώδης ακτινοβολία, στρες, οξειδωτικά, ελεύθερες ρίζες– επιδρούν αρνητικά στη διαδικασία της γήρανσης ενώ κάποιοι άλλοι αντιθέτως επιδρούν ευεργετικά. Έχουμε λοιπόν ένα φαινόμενο για το οποίο οι επιδημιολόγοι υποστηρίζουν ότι κατά ένα 25-30% σχετίζεται με γενετικούς παράγοντες –μιλιά πάντοτε για τη γήρανση και τη μακροβιότητα– αλλά τελικά το περιβάλλον, οι συνθήκες ζωής, εν ολίγοις ο τρόπος με τον οποίο ο καθένας ζει τη ζωή του διαδραματίζει τον κυρίαρχο ρόλο.

Και πράγματι, αυτή είναι η πεμπουσία κάθε βιολογικού φαινομένου που μελετάμε. Θα φέρω και ένα δεύτερο παράδειγμα που εντάσσεται στην ίδια κατηγορία. Προ ετών ανακαλύφθηκε κάποια χρωμοσωμική περιοχή η οποία δημιουργούσε την προδιάθεση γι' αυτό που ονομάζουμε απλά «μουσικό αφτί». Δηλαδή άνθρωποι οι οποίοι κωδικοποιούσανε ένα συγκεκριμένο τμήμα σε ένα χρωμόσωμα φάνηκε ότι είχαν την προδιάθεση να αντιλαμβάνονται τις νότες πολύ καλύτερα (absolute pitch). Κατοπινές μελέτες όμως έδειξαν το εξής πολύ ενδιαφέρον: αυτή η συγκεκριμένη χρωμοσωμική περιοχή δεν ήταν ικανή ούτε απαραίτητη για να κάνει κάποιον άνθρωπο μουσικό, καθώς επιδημιολογικές έρευνες έδειξαν ότι νήπια που ασχολήθηκαν με τη μουσική και διέθεταν πάντοτε αυτή τη χρωμοσωμική περιοχή πριν την ηλικία των τεσσάρων ετών ανέπτυξαν αυτή την ιδιότητα, ενώ παιδιά που διέθεταν αυτή τη χρωμοσωμική περιοχή αλλά ασχολήθηκαν με τη μουσική μετά τα εννέα έτη δεν την ανέπτυξαν.

Υφίσταται, επομένως, γενετική προδιάθεση σε ορισμένες περιπτώσεις ενώ σε άλλες όχι, και μάλιστα είναι τόσο πολύπλοκη που τελικά αδυνατούμε να τη μελετήσουμε. Η γενική αυτή γενετική προδιάθεση δεν είναι από μόνη της ικανή ούτε αναγκαία για να ορίσει μια λειτουργία, μια ιδιότητα ή να προδιαγράψει ένα φαινόμενο. Αναρωτιόμαστε ωστόσο αν υπάρχουν αυστηρά γενετι-

κές προκαθορισμένες διαδικασίες. Και πράγματι είναι ελάχιστες. Αναφέρω μονάχα ένα παράδειγμα, ακριβώς θέλοντας να δείξω πόσο επικίνδυνο θα ήταν –τόσο από φιλοσοφικής όσο και από βιοηθικής πλευράς– εάν ζούσαμε σε αυτό τον ατυχή κόσμο και την κάθε μας ιδιότητα καθόριζε αυστηρά κάποια γενετική προδιάθεση.

Μια τέτοια μονογονιδιακή νόσος είναι η νόσος του Huntigton. Πρόκειται για μια νευροεκφυλιστική διαδικασία. Το δε υπεύθυνο γονίδιο έχει απομονωθεί. Μπορούμε όντως να ανιχνεύσουμε αν κάποιος είναι θετικός να φέρει τη συγκεκριμένη μετάλλαξη ή όχι. Ο φαινότυπος, μάλιστα, είναι δυστυχώς έντονα καθορισμένος. Δηλαδή άνθρωποι οι οποίοι φέρουν τη συγκεκριμένη μετάλλαξη θα αναπτύξουν τη νόσο περίπου στα 40 τους χρόνια και είναι σχεδόν μαθηματικά προδικασμένο ότι μετά από 10 με 15 χρόνια θα επέλθει ο θάνατος.

Φέρνω αυτό το παράδειγμα μόνο και μόνο για να θέσω το εξής ερώτημα: Έχει το δικαίωμα κάποιος να μάθει αν θα είναι θετικός ή όχι; Κι αν υποθέσουμε ότι κάποιος έχει το δικαίωμα πραγματικά να μάθει, κι αν μάλιστα είναι θετικός, η πιθανότητα είναι μία στις δέκα χιλιάδες. Πρόκειται δηλαδή για μια αρκετά μικρή κι ωστόσο υπαρκτή πιθανότητα. Σε εκείνη όμως την περίπτωση αυτός ο άνθρωπος πρέπει να κάνει παιδιά, όταν θεωρητικά η πιθανότητα να μεταφέρει αυτή τη μετάλλαξη είναι περίπου 50%; Αν αυτός ο άνθρωπος έχει αδέρφια, που επίσης η πιθανότητα είναι ίδια, έχει το δικαίωμα να θέσει στο άμεσο συγγενικό του περιβάλλον ανάλογα ερωτήματα;

Αναφέρω, επ' ευκαιρία κάτι που πληροφορηθήκαμε προ διετίας, ότι στη Βρετανία οι ασφαλιστικές εταιρείες θεώρησαν υποχρεωτικό οι ασφαλιζόμενοι να χαρτογραφούνται για τη συγκεκριμένη μετάλλαξη. Δεν γνωρίζω τι αποφασίστηκε τελικά, αλλά θέλω να ελπίζω ότι αυτό ακριβώς το αίτημα δεν έγινε δεκτό.

Έτσι λοιπόν θα έλεγα ότι, εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων, δεν υπάρχει γονίδιο «υπεύθυνο για...». Υπάρχουν σαφέστατα γενετικές προδιαθέσεις για ορισμένες διεργασίες, το πώς όμως τελικά θα εξελιχθεί μια λειτουργία, ένας οργανισμός, είναι πάντοτε –ή αν μη τι άλλο στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων– ένας συγκερασμός της «γενετικής προδιάθεσης» και της επίδρα-

σης, της ανταπόκρισης του εκάστοτε οργανισμού στο περιβάλλον και στις συνθήκες κάτω από τις οποίες ζει.

Θα ήθελα στη συνέχεια να ξεφύγω από την αυστηρή Βιολογία και να αναφερθώ σε κάποια άλλα ζητήματα, συνυπολογίζοντας το ενδιαφέρον του ευρέως κοινού για τις μελέτες που αφορούν τον ίδιο τον άνθρωπο κι όχι τους εξελικτικά χαμηλότερους οργανισμούς, που ενδιαφέρουν κατά κύριο λόγο τους ερευνητές. Ίσως το πρώτο ερώτημα στο οποίο θα πρέπει –όσο πιο απλοϊκά μπορούμε– να απαντήσουμε είναι γιατί βρισκόμαστε στην κορυφή της εξέλιξης. Πώς συμβαίνει αυτό; Δηλαδή, ποια ήταν τα στοιχεία εκείνα που μας οδήγησαν στην κορυφή της πυραμίδας της ζωής;

Καθοριστικό στοιχείο είναι, πιστεύω, η προσαρμοστικότητα των οργανισμών σε ένα περιβάλλον αξιωματικά εχθρικό και διαρκώς μεταλλασσόμενο. Πώς όμως πραγματώνεται αυτή η προσαρμοστικότητα; Πολύ πρόσφατα, η πλέον έγκριτη επιστημονική επιθεώρηση *Nature* δημοσίευσε μια εξαιρετη μελέτη με αντικείμενο τα χλαμιδομόνια, η οποία κατέληγε σε ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα που αξίζει να εξετάσουμε.

Όλοι μας διαφέρουμε κατά τι ως προς το γενετικό μας υλικό και, χωρίς να ξέρουμε πώς, δηλαδή τυχαία ή μη, συνεχώς ενσωματώνουμε αλλαγές. Η σωστή έκφραση είναι «μετάλλαξη» αλλά πρόκειται για μια λέξη παρεξηγημένη, οπότε κρατάμε τον όρο γενετικό «υλικό». Κληροδοτούμε στους απογόνους μας αυτό το γενετικό υλικό, το οποίο συνδυάζεται με τον γενετικό μας σύντροφο, με αυτόν με τον οποίο αποκτούμε παιδιά. Έτσι λοιπόν, ο κάθε απόγονος και η κάθε γενιά απογόνων διαφέρει στο γενετικό υλικό σε σχέση με άλλους, κατά τι έστω. Εάν συγκεκριμένα άτομα έχουν ένα συγκεκριμένο γενετικό υλικό και τυγχάνει αυτό το γενετικό υλικό να είναι πιο ανθεκτικό στο υπό διαμόρφωση περιβάλλον, τότε αυτός ο πληθυσμός στην πορεία των γενεών θα υπερισχύσει.

Για να δικαιολογήσω και τον τίτλο της αποψινής μου ομιλίας, πιστεύω τελικά ότι μιλάμε και για γενετική τύχη: το πώς θα γίνουν αυτές οι αλλοιώσεις είναι τυχαίο, δεν είναι σε καμία περίπτωση ντετερμινιστικό, από όσο είμαστε σε θέση σήμερα να γνωρίζουμε. Πρόκειται για μια εξελικτική αναγκαιότητα, διότι

τελικά οι απόγονοι που θα είναι πιο ικανοί να ανταποκριθούν, να προσαρμοστούν στο νέο περιβάλλον και τις συνθήκες, είναι αυτοί οι οποίοι τελικά θα επιβιώσουν και θα εξελιχθούν. Ανάλογες διαδικασίες ενδεχομένως μπορούν να μας κάνουν να κατανοήσουμε σταδιακά για ποιο ακριβώς λόγο ορισμένα είδη και οργανισμοί εξελίχθηκαν, προσαρμόστηκαν και, ας μου επιτραπεί η έκφραση, είναι ανώτερα από κάποια άλλα.

Ξαναγυρνώντας στον άνθρωπο, βλέπουμε πως διαθέτει πλήθος άλλων ιδιοτήτων τις οποίες μέχρι σήμερα η Βιολογία αδυνατεί να εξηγήσει. Υπενθυμίζω ότι σε γενετικό επίπεδο τα θηλαστικά και όλες οι μορφές ζωής παρουσιάζουν πάρα πολλές ομοιότητες. Με τα τρωκτικά, για παράδειγμα, είμαστε κατά 90% όμοιοι όσον αφορά το γενετικό μας υλικό, διαφέρουμε μόνο σε 300 γονίδια. Με τον χιμπατζή είμαστε περίπου κατά 99% όμοιοι κι ωστόσο διαφέρουμε ριζικά.

Αν λοιπόν διερευνούσαμε τα στοιχεία που κάνουν τον άνθρωπο να διαφέρει από τις άλλες μορφές ζωής, φαντάζομαι ότι θα στεκόμασταν σε δυό-τρεις παράγοντες:

Πρώτον, η δεξιότητα του αντίχειρα, το γεγονός ότι μπορούμε να χρησιμοποιούμε το χέρι μας ως εργαλείο. Είναι ίσως η μοναδική ιδιότητα που θα μπορούσε να ερμηνευτεί με βάση τον συγκερασμό γενετικής τύχης και εξελικτικής αναγκαιότητας: κάποια πιθηκοειδή, κατάφεραν με κάποια διαδικασία να αναπτύξουν τη συγκεκριμένη ιδιότητα. Σαφέστατα, το ότι διαθέτουμε ένα χέρι-εργαλείο συνέβαλε καθοριστικά σε αυτή την εξέλιξη.

Υπάρχουν όμως ευάριθμες άλλες ιδιότητες –τις οποίες τουλάχιστον σήμερα η Βιολογία αδυνατεί να εξηγήσει– που σαφέστατα κάνουν τον άνθρωπο να διαφέρει από τις άλλες μορφές ζωής. Θα απεικονίσω δύο, οι οποίες καθαρά υποκειμενικά είναι πολύ σημαντικές: αφενός διαθέτουμε φαντασία κι αφετέρου είμαστε η μοναδική μορφή ζωής που έχει συναίσθηση του επικείμενου θανάτου της. Αναμφίβολα, συντρέχουν κι άλλες ιδιότητες και διαδικασίες, τις οποίες όμως η Βιολογία στις αρχές του 21ου αιώνα αδυνατεί να αναλύσει.

Η Βιολογία, τολμώ να πω, βρίσκεται ακόμα στα σπάργανα. Είμαι πεπεισμένος ότι τα ερωτήματα στα οποία θα κληθούμε στο εγγύς μέλλον να απαντήσουμε θα είναι πολύ πιο σημαντικά από τα πρωτόγονα ζητήματα με τα οποία μας βομβαρδίζουν οι επιστημονικές ανακοινώσεις και τις οποίες προβάλλουν τα μέσα μαζικής επικοινωνίας.

Αναφορικά, τώρα, με την ελεύθερη βούληση, αναρωτιόμαστε αν άραγε εδράζεται κάπου. Κι αν ναι, τότε πού; Θα ήθελα λοιπόν εδώ –κι ας μου το επιτρέψουν οι συνάδελφοι, οι φυσικοί του ακροατηρίου– να κάνω μια σειρά από αναγωγές με βάση τη Φυσική, που είναι πολύ πιο ανεπτυγμένη από τη Βιολογία και να θέσω κάποια υποθετικά ερωτήματα έτσι όπως αναπτύχθηκαν από τις φυσικές επιστήμες.

Κατ' αρχάς, αναφορικά με τη θεωρία της σχετικότητας, θέλω να θέσω δύο ερωτήματα τα οποία οφείλουν να μας απασχολούν. Πρώτον, μπορούμε να αντιληφθούμε ένα φαινόμενο με βάση ένα περιορισμένο εύρος μετρήσεων που έχουμε; Πολύ απλά, όταν κοιτάω βλέπω μόνο το ορατό φως. Αν εκπέμπεται μια εικόνα πέρα από τα όρια του ορατού φωτός ή έναν ήχο πέρα από τα όρια των ήχων, αυτό δεν είμαι σε θέση να το κατανοήσω.

Προάγουμε βεβαίως μια τεχνολογία που έρχεται να καλύψει αυτά τα φάσματα αλλά οι πέντε μας αισθήσεις ταυτόχρονα μας οριοθετούν ενώ δεν πρέπει επ' ουδενί να θεωρούμε ότι ο κόσμος όπως υπάρχει περιορίζεται στα όρια των πέντε αισθήσεων ή στις προεκτάσεις τους που διασφαλίσαμε χάρη σε ποικίλα όργανα που έχουμε εφεύρει. Με άλλα λόγια, θα έλεγα ότι πρέπει να έχουμε επίγνωση του συστήματος αναφοράς –για να χρησιμοποιήσω έναν πιο τεχνολογικό όρο– στο οποίο εργαζόμαστε.

Δευτερευόντως, θέλω να σταθώ στο ερώτημα εάν ο παρατηρητής επηρεάζει το αντικείμενο που παρατηρεί. Είναι μια παράμετρος την οποία δεν λαμβάνουμε υπόψη κι όμως σαφέστατα διαδραματίζει κάποιο ρόλο και στις βιολογικές επιστήμες. Εάν δε εντάξουμε σε αυτή τη σκέψη και τη θεωρία της αβεβαιότητας, όπως αναπτύχθηκε από τον Χάιζενμπεργκ, αντιλαμβανόμαστε ότι τελικά μελετούμε κάποια φαινόμενα μέσα σε κάποια πολύ αυστηρά όρια, των οποίων

πρέπει να έχουμε σαφή επίγνωση. Σε καμία περίπτωση δεν θέλω να φτάσω στον αυστηρά φιλοσοφικό αντίποδα, όπως πολύ εύστοχα εκφράστηκε στο έργο του Σοπενχάουερ *Ο κόσμος ως βούληση και ως παράσταση*, ούτε και στην καντιανή αντίληψη του κόσμου, ότι δηλαδή νοηματοδοτούμε κατά το δοκούν.

Σαφέστατα υπάρχει αντικείμενο αναφοράς, υπάρχει ο κόσμος τον οποίο παρατηρούμε. Πρέπει όμως να έχουμε επίγνωση των περιορισμών όσων παρατηρούμε καθώς επίσης και των μέσων που διαθέτουμε. Οφείλουμε να έχουμε εξίσου κατά νου ότι πιθανώς ακόμα κι εμείς οι ίδιοι όταν παρατηρούμε κάτι ενδέχεται να το επηρεάζουμε κι άρα να έχουμε μια υποκειμενική εικόνα αυτού του γεγονότος.

Ένα άλλο θέμα το οποίο θέλω να θίξω –που προέρχεται επίσης από τη Φυσική και τη θεωρία των κβάντα– αφορά το γεγονός ότι το ελάχιστο σωματίδιο στη Φυσική είναι και ύλη και ενέργεια. Στη Βιολογία μελετούμε εν τέλει αυστηρά τις ιδιότητες της ύλης. Δεν γνωρίζουμε αν υπάρχει κάτι άλλο, αν υπάρχει μια άλλη μορφή του ελάχιστου σωματιδίου, του κυτάρου, κι αν τελικά έχει και κάποιες άλλες ιδιότητες.

Παραμένει συνεπώς το εξής ερώτημα, που ορισμένοι θεωρούν παρωχημένο: Το κύτταρο τελικά βούληται; Πρόκειται για ένα υποθετικό ερώτημα για το οποίο δεν έχουμε καμία απάντηση. Έχουμε μάλλον μία απάντηση αναφορικά με την οποία θα παραπέμψω στην ομιλία του κ. Νίκολη. Αναφέρθηκε ο κ. Νίκολης στον καθοριστικό ρόλο που παίζει στα δίκτυα που ανέφερα μία πρωτεΐνη μέσα στο κύτταρο, η Π53, γνωστή στην επιστημονική κοινότητα εδώ και 25 περίπου χρόνια. Παρόλο που είχαμε μια τελείως στρεβλή άποψη για τη λειτουργία αυτής της πρωτεΐνης επί μία δεκαετία σχεδόν, σιγά-σιγά καταλάβαμε ότι πρόκειται για ένα μόριο το οποίο κατέχει πραγματικά μια κομβική θέση στη λειτουργία ενός κυτάρου. Κι αυτό γιατί όταν το κύτταρο εκτίθεται σε αυτό που λέμε «εχθρικό περιβάλλον», φερ' ειπείν δέχεται μια υπεριώδη ακτινοβολία κι άρα υφίσταται βλάβες στο γενετικό του υλικό, οφείλει εκείνη τη στιγμή να αποφασίσει απλούστατα τι θα κάνει. Την πολυσιχιδή αυτή απόφαση την παίρνει το

μόριο P153. Το κύτταρο ενδέχεται να θεωρήσει –μέσω της P153– ότι η βλάβη είναι μικρή κι άρα ανατάξιμη, οπότε ενεργοποιείται το κατάλληλο μονοπάτι, επιδιορθώνεται η βλάβη και το κύτταρο παραμένει στο πλαίσιο του ιστού και του οργανισμού ως είχε. Αν η βλάβη είναι λίγο μεγαλύτερη, η P153 αντιλαμβάνεται ότι δεν συμφέρει το κύτταρο και τον οργανισμό να επιδιορθωθεί κι επομένως σηματοδοτεί την παύση της πολλαπλασιαστικής ικανότητας του κυττάρου. Με άλλα λόγια, δίνει εντολή να μην μεταδοθούν οι μεταλλάξεις που έχουν δημιουργηθεί στο γενετικό υλικό σε απογόνους του ίδιου κυττάρου. Εάν, πάλι, η βλάβη είναι μεγάλη, η ίδια η P153 σηματοδοτεί αυτό που λέμε «κυτταρική αυτοκτονία» (ο βιολογικός όρος είναι «απόπτωση»).

Έχουμε λοιπόν ένα μόριο το οποίο καλείται να αποφασίσει. Βεβαίως, ούτε εδώ είναι απολύτως τυχαίο τι θα αποφασιστεί τελικά. Σιγά-σιγά αρχίζουμε να κατανοούμε ότι, σύμφωνα με τη λογική των πολύπλοκων συστημάτων, οι αποφάσεις διαφέρουν ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες, τη συγκεκριμένη έκθεση βλάβης, το συγκεκριμένο γενετικό υπόστρωμα.

Το πλεονέκτημα, εν τέλει, των επιλεγόμενων θετικών επιστημών είναι ότι, αν ξέρουμε το σύστημα αναφοράς στο οποίο δουλεύουμε, το πείραμα μάς δίνει μια απάντηση με ελάχιστα περιθώρια αμφισβήτησης. Ταυτόχρονα, όμως, πρέπει εμείς οι ίδιοι να αμφισβητούμε τους εαυτούς μας και να μην πιστεύουμε ότι μια σημερινή γνώση αποτελεί πανάκεια, αφού όταν απαντιέται ένα ερώτημα γεννάει πάραυτα επόμενα ερωτήματα.

Εφεξής, υπάρχει μια σειρά ερωτημάτων στα οποία θα κληθούν να απαντήσουν κατά πάσα πιθανότητα οι επιστήμες της ζωής: Υφίσταται το δίπολο ύλης-ενέργειας στη ζωή κι αν ναι, πώς οριοθετείται; Τι σημαίνει εξέλιξη και προσαρμοστικότητα; Νομίζω ότι έγινε σαφές πως κάτι ανάλογο λαμβάνει χώρα είτε στο γενετικό υλικό –μεταφέροντας αυτό το γενετικό υλικό στους απογόνους– είτε σε ένα δεδομένο εν ζωή οργανισμό, αλλάζοντας τη δομή και τη διαμόρφωση των πρωτεϊνών. Επίσης, πρέπει να μελετήσουμε κατά πόσο ένας ζωντανός οργανισμός, όταν εκτίθεται σε ένα περιβάλλον, μπορεί να προσαρμοστεί παράγοντας τα ίδια μόρια με διαφορετική όμως δομή.

Σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να ξεχνάμε αυτό που συνιστά το δυστύχημα του ανθρώπου αλλά ταυτόχρονα και το στοιχείο που τον κρατάει εν ζωή: ότι προσπαθούμε να καταλάβουμε πράγματα τα οποία ενδεχομένως ο εγκέφαλός μας δεν είναι εκ προοιμίου σε θέση να καταλάβει στην ολότητά τους.

Η αναζήτηση του «ελαχίστου» της ύλης από τον Λεύκιππο μέχρι σήμερα

Ίων Σιώτης

Φυσικός - Πρόεδρος Δ.Σ./ΕΙΕ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κυρίες και κύριοι, ευχαριστώ για άλλη μια φορά για το ενδιαφέρον που δείχνετε για τους κύκλους του προγράμματος «Επιστήμης Κοινωνία». Όταν συζητούμε θέματα όπως αυτό του σημερινού κύκλου «Φιλοσοφία και Θετικές Επιστήμες στον 20ό αιώνα» είμαι μάλλον επιφυλακτικός. Στην εποχή μας, η διαίρεση και η εξειδίκευση των επιστημών καθιστά ιδιαίτερα δύσκολο τον συνδυασμό, με τρόπο ολοκληρωμένο και συνεκτικό, της Φιλοσοφίας και των Θετικών Επιστημών. Η άρθρωση ενός λόγου κοινού ανάμεσα σε αυτά τα δύο γνωστικά πεδία είναι πράγματι αρκετά δύσκολη. Άλλωστε, η εξειδίκευση των επιστημονικών πεδίων καθιστά την επικοινωνία δύσκολη, ακόμα και μεταξύ των λεγομένων Θετικών Επιστημών, για παράδειγμα της Βιολογίας, της Χημείας και της Φυσικής.

Εξέκρινσα τη σταδιοδρομία μου στη δεκαετία του '60 και ειδικεύτηκα στη Φυσική των λεγομένων σήμερα «Υψηλών ενεργειών». Τότε η ορολογία ήταν

διαφορετική. Αν κοιτάξετε τα βιβλία της περιόδου εκείνης, θα δείτε τίτλους όπως *Elementary Particle Physics* (Φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων) ή *Fundamental Particle Physics* (Φυσική των θεμελιωδών σωματιδίων).

Με τον καιρό, οι λέξεις *elementary* ή *fundamental* άρχισαν να αποσύρονται από την ορολογία, διότι όσο προχωρούσαμε τόσο καταλαβαίναμε ότι αυτό που θεωρούσαμε στοιχειώδες δεν ήταν τίποτε άλλο παρά άλλο ένα επίπεδο δομής της ύλης κάτω από το οποίο υπήρχε κάτι ακόμα πιο στοιχειώδες. Με άλλα λόγια, μια ύλη σαν κρεμμύδι, χωρίς πυρήνα, κι όχι σαν ελιά. Έτσι λοιπόν εγκαταλείφθηκε ο επιθετικός προσδιορισμός «στοιχειώδη» σωματίδια και παρέμεινε απλά η «Φυσική των σωματιδίων». Και τα σωματίδια όμως άρχισαν κάποτε να χάνουν την υπόστασή τους, αλλάξαμε λοιπόν κι εκείνον τον τίτλο και σήμερα ο επιστημονικός μου κλάδος περιγράφεται στα αγγλικά απλά ως “High Energy Physics” (Φυσική των υψηλών ενεργειών).

Αυτή η γλωσσική εξέλιξη, η εγκατάλειψη της λέξης σωματίδιο είναι ιδιαίτερα αποκαλυπτική για το αποψινό μας θέμα, καθώς μας δίνει μια πρόγνωση της σημερινής κατάστασης. Στην ομιλία θα χρησιμοποιήσω όσο το δυνατόν περισσότερο μπορώ την εικόνα διότι ίσως έτσι καταστήσω κάπως πιο ευκολονόητα τα πράγματα.

ΕΝΑ Ή ΠΟΛΛΑ «ΕΛΑΧΙΣΤΑ»;

Η έννοια του ελαχίστου δεν είναι μόνο θέμα διαστάσεων στον χώρο αλλά είναι συνυφασμένη και με το πεδίο γνώσης στο οποίο αναφερόμαστε. Για παράδειγμα, το ελάχιστο του χημικού είναι το άτομο του χημικού στοιχείου. Το ελάχιστο του βιολόγου θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι το αμινοξύ, μια οργανωμένη δομή πολλών ατόμων χημικών στοιχείων. Το ελάχιστο του κοινωνιολόγου, του οικονομολόγου, θα ήταν το ανθρώπινο άτομο. Από κει και πέρα, κάτω από αυτό το ελάχιστο, αλλάζουμε γνωστικό πεδίο, περνάμε από τη Βιολογία στη Χημεία και από τη Χημεία στη Φυσική. Και βεβαίως, εάν δεν κάνουμε τη δουλειά μας σωστά, τότε κάνουμε μια αναγωγή αδικαιολόγητη. Αναγωγή του τύπου: η Χημεία είναι Φυσική, η Φυσική είναι Πυρηνική Φυσική,

η Πυρηνική Φυσική είναι Σωματιδιακή Φυσική, άρα και η Χημεία είναι Σωματιδιακή Φυσική και βεβαίως και η Βιολογία είναι Χημεία και η Ανθρωπολογία είναι Βιολογία, η Κοινωνιολογία κ.ο.κ.

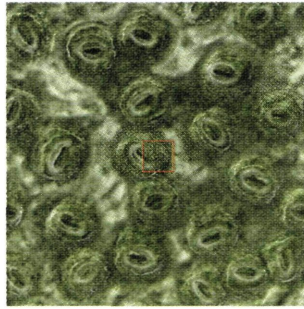
Κάθε γνωστικό πεδίο λοιπόν χρησιμοποιεί μια συλλογή εννοιών, εργαλείων, με τα οποία δουλεύει και η οποία περιλαμβάνει το ελάχιστο δομικό στοιχείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή που χρησιμοποιείται από αυτό το γνωστικό πεδίο. Όταν λοιπόν αλλάζουμε κλίμακα, αλλάζουμε και γνωστικό πεδίο.

Για να γίνω πιο σαφής, θα ξεκινήσω με μια γνώριμη εικόνα ενός φύλλου δρυός (εικ.1) σε μια κλίμακα όπου η πλευρά του τετραγώνου της εικόνας αντιπροσωπεύει 10 εκατοστά ή 0.1 μέτρα ή 10^{-1} m. Βρισκόμαστε στο γνωστικό πεδίο της Βοτανικής. Ας κοιτάξουμε τώρα το φύλλο με μικροσκόπιο σε μεγέθυνση 10.000 φορές. Στην εικόνα 2 η πλευρά του τετραγώνου είναι τώρα 10.000 φορές μικρότερη (10^{-5} m) και διακρίνουμε τα κύτταρα του φύλλου της δρυός. Από εδώ και πέρα εγκαταλείπουμε τη Βοτανική και μπαίνουμε στο γνωστικό πεδίο της Βιολογίας. Το βοτανικό ελάχιστο είναι το κύτταρο.



10^{-1} meters 10 centimeters

Εικ. 1. Φύλλο δρυός

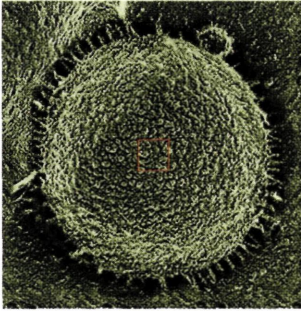


10^{-5} meters 10 microns

Εικ. 2. Κύτταρο φύλλου δρυός

Σε μικρότερες διαστάσεις χρησιμοποιούμε άλλες έννοιες-εργαλεία. Αν μεγεθύνουμε το κύτταρο του φύλλου δρυός δέκα φορές (κατά μία τάξη μεγέθους) εμφανίζεται στην εικόνα 3 (πλευρά τετραγώνου 10^{-6} m) ο πυρήνας του κυττάρου του φύλλου. Δεν είμαι κυτταρικός βιολόγος και δεν μπορώ να σας

διαβεβαιώσω ότι η ιδιότητα-οντότητα «δρυς» είναι αναγνωρίσιμη στην εικόνα 3. Προχωρούμε σε μεγαλύτερη μεγέθυνση στην εικόνα 4 (πλευρά τετραγώνου 10^{-7} m) και βλέπουμε στο εσωτερικό του πυρήνα τα μόρια μιας πολυσύνθετης πρωτεΐνης που ονομάζεται χρωματίνη. Το προηγούμενο ερώτημα σχετικά με την αναγνωρισιμότητα της ιδιότητας-οντότητας «δρυς» στο μόριο της χρωματίνης γίνεται πιο επίκαιρο.



10^{-6} meters

1 micron



10^{-7} meters

1,000 angstroms

Εικ. 3. Πυρήνας κυττάρου δρυός

Εικ. 4. Χρωματίνη στον πυρήνα

Αν τώρα προχωρήσουμε σε μεγέθυνση κατά μία τάξη μεγέθους ακόμα, βλέπουμε στην εικόνα 5 (πλευρά τετραγώνου 10^{-8} m) την αλυσίδα του DNA που κωδικοποιεί τις πρωτεΐνες που με τη σειρά τους συγκροτούν τον πυρήνα του κυττάρου δρυός. Για τον μοριακό βιολόγο η αλυσίδα αυτή των αμινοξέων που ονομάζουμε DNA εμπεριέχει την «υπογραφή» της ιδιότητας-οντότητας στην οποία, μακροσκοπικά, δίνουμε το όνομα «δρυς». Εδώ όμως φθάνουμε και στο τέλος της οντότητας «δρυς».

Στην εικόνα 6, σε μεγέθυνση κατά μία τάξη μεγέθους ακόμα (πλευρά τετραγώνου 10^{-9} m), βλέπουμε τα μόρια των αμινοξέων που αποτελούν τα δομικά στοιχεία της αλυσίδας του DNA δρυός. Τα μόρια αυτά, όμως, είναι τα ίδια είτε πρόκειται για δρυ είτε για ελέφαντα. Ενδεχομένως μπορούμε ακόμα να πούμε ότι πρόκειται για συστατικά οργανικής έμβιας ύλης. Αν προσπαθήσουμε να μεγεθύνουμε κατά μία τάξη μεγέθους ακόμα θα αντικρίσουμε τα

άτομα των χημικών στοιχείων που συγκροτούν τα αμινοξέα που συγκροτούν το DNA που κωδικοποιεί τις πρωτεΐνες της δρυός κ.ο.κ.



10⁻⁸ meters 100 angstroms

Εικ. 5. Αλυσίδα DNA δρυός



10⁻⁹ meters 1 nanometer

Εικ. 6. Αμινοξέα - το τέλος της δρυός

Τα χημικά αυτά στοιχεία είναι ο άνθρακας, το οξυγόνο κ.λπ. και είναι τα ίδια είτε βρίσκονται σε μια δρυ στη Γη ή σε ένα κόκκο σκόνης στη Σελήνη. Τώρα πλέον βρισκόμαστε στα πεδία γνώσης που ονομάζουμε Χημεία και Φυσική, για τα οποία η ιδιότητα-οντότητα «δρυς» ή «λεμονιά» δεν έχει νόημα.

Αυτή η σύντομη διαδρομή από τη Βοτανική στη Χημεία και τη Φυσική μέσω Κυτταρικής και Μοριακής Βιολογίας ανέδειξε ότι στην αναζήτηση του ελάχιστου θα διασχίσουμε πολλά διαφορετικά γνωστικά πεδία. Έδειξε επίσης πώς οι μακροσκοπικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τις κατηγορίες ενός συγκεκριμένου γνωστικού πεδίου, όπως «δρυς» ή «λεμονιά», στη Βοτανική παύουν να υφίστανται όταν περάσουμε στο πιο μικροσκοπικό θεμελιώδες γνωστικό πεδίο. Η διαπίστωση αυτή θα αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη παρακάτω και για τον λόγο αυτό θα σταθώ κάπως περισσότερο στη σχέση ανάμεσα σε **μικροσκοπική δομή** και **μακροσκοπική ιδιότητα**. Η ύπαρξη μιας τέτοιας σχέσης αποτελεί άλλωστε και τον ακρογωνιαίο λίθο της υλιστικής ατομικής θεωρίας που ξεκίνησε με τον Λεύκιππο πριν 25 αιώνες.

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ) ΣΤΗ ΒΟΤΑΝΙΚΗ

Θα ξεκινήσω από τη Βοτανική επειδή μου επιτρέπει να αναδείξω τις βασικές αρχές της σχέσης δομή-ιδιότητα με τρόπο ιδιαίτερα οικείο.

Στην εικόνα 7 βλέπουμε μια λεμονιά από την οποία φυτρώνει ένα κλαδί πορτοκαλιάς. Όταν πρωτοαντίκρισα κάτι τέτοιο σκέφτηκα απλοϊκά ως φυσικός: τι ωραία θα ήταν να είχαμε ένα πολυδύναμο, μαγικό δέντρο που να μας δίνει όχι μόνο λεμόνια και πορτοκάλια αλλά και μήλα και ροδάκινα και, γιατί όχι, ακόμα και καρύδια! Σε τελευταία ανάλυση, για τον χημικό και τον φυσικό όλοι αυτοί οι καρποί αποτελούνται από άτομα άνθρακα, υδρογόνου, οξυγόνου, αζώτου κ.λπ., τα οποία είναι τα ίδια είτε πρόκειται για άνθρακα στο λεμόνι ή στο μήλο. Στην εικόνα 8 βλέπετε ένα τέτοιο μαγικό δέντρο.



Εικ. 7 *Genus citrus*



Εικ. 8 *Απίστευτο!!!*

Η εικόνα 8 μας ξενίζει διότι η εμπειρία λέει ότι ένα τέτοιο δέντρο δεν είναι δυνατόν να υπάρξει. Αντίθετα, όσοι ασχολούνται με την κηπουρική αναγνωρίζουν στην εικόνα 7 κάτι εφικτό. Οι αγρότες τα γνωρίζουν αυτά πρακτικά και με βάση τέτοιου είδους εμπειρικές αλλά συστηματικές παρατηρήσεις χτίστηκε όλο το μεγαλειώδες **ταξονομικό** οικοδόμημα της επιστήμης που λέγεται Βοτανική.

Κάτι αντίστοιχο έγινε και με όλες τις άλλες μορφές της έμβιας ύλης, από τα μικρόβια μέχρι τα θηλαστικά. Στην περίπτωση των φρούτων λέμε ότι το λεμόνι, πορτοκάλι, μανταρίνι κ.ά. ανήκουν στο λεγόμενο genus Citrus, ενώ το μήλο, αχλάδι κ.λπ. στο λεγόμενο genus Malus.

Κάθε genus χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο ιδιοτήτων που συγκροτούν αυτό που θα ονομάζαμε «κιτρότητα» για το genus Citrus και «μηλότητα» για το genus Malus. Η εμπειρική παρατήρηση ότι δεν θα βρούμε ποτέ ένα μήλο να φυτρώνει από μια λεμονιά και αντίστροφα κωδικοποιείται από τους επιστήμονες σε έναν νόμο διατήρησης της «κιτρότητας» ως εξής:

Για κάθε τοπολογικά συνδεδεμένη διαδρομή σε ένα σύμπαν-δένδρο η ιδιότητα «κιτρότητα» («μηλότητα» κ.λπ.) διατηρείται.

Σε κοινή γλώσσα «τοπολογικά συνδεδεμένη διαδρομή» σημαίνει ότι ο νόμος διατήρησης ισχύει εφόσον δεν αλλάξουμε δένδρο. Γιατί όμως ισχύουν τέτοιοι νόμοι διατήρησης;

Σε ποιο επίπεδο συνθετότητας, δομής στον χώρο και οργάνωσης της ύλης αναδύεται η ιδιότητα (λειτουργία) «κιτρότητα»; Με άλλα λόγια, **πότε το μήλο γίνεται μήλο και παύει να είναι άνηθρακας και υδρογόνο;**

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα μιλώντας για τη δρυ, αυτό γίνεται στο επίπεδο οργάνωσης της ύλης που είναι η αλυσίδα του DNA και των πρωτεϊνών που αυτή κωδικοποιεί. Σκεφτείτε τις πρωτεΐνες να δένουν μεταξύ τους σαν κομμάτια ενός παζλ. Το γεωμετρικό σχήμα των πρωτεϊνών για όλα τα φρούτα του ίδιου genus είναι αρκετά συγγενές ώστε να είναι σε θέση να συνθέσει τις διάφορες μορφές «λεμόνι», «πορτοκάλι» κ.λπ. Αντίθετα, οι γεωμετρικές διαφορές ορισμένων κρίσιμων πρωτεϊνών του genus Citrus με τις αντίστοιχες του genus Malus εμποδίζουν το μήλο να φυτρώσει στη λεμονιά.

Η ερμηνεία των διαφορών «genus» της Βοτανικής, με βάση τη γεωμετρία των πρωτεϊνών και του DNA που τις κωδικοποιεί, είναι ένα επιστημονικό επίτευγμα του τελευταίου αιώνα. Μέχρι τότε η «επιστήμη» της Βοτανικής βρισκόταν στη νηπιακή, ταξονομική φάση στην οποία την είχε δρομολογήσει ο Carl Linnaeus (1707-1778) δύο αιώνες νωρίτερα.

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ

Η συστηματοποίηση της επιστήμης που σήμερα ονομάζουμε Χημεία έχει τις ρίζες της στις αλχημικές αναζητήσεις του Μεσαίωνα και της Αναγέννησης όπως δείχνει γκραβούρα του Peter Breughel του πρεσβύτερου (1525-1564) στην εικόνα 9. Μεταξύ άλλων, οι αναζητήσεις αυτές είχαν ως πρακτικό στόχο τη μεταστοιχείωση (transmutation) μιας αναγνωρίσιμης μορφής ύλης, ενός στοιχείου, σε ένα άλλο, παραδείγματος χάριν του ευτελούς μολύβδου σε πολύτιμο χρυσό. Σημασία για τη συζήτησή μας έχει το γεγονός ότι η επιδίωξη αυτή εμπεριέχει την παραδοχή ότι κάτι τέτοιο είναι εφικτό. Με άλλα λόγια, ότι η ύλη είναι **μία** και οι διάφορες εκφάνσεις της δεν είναι αποτέλεσμα εγγενών, θεμελιωδών διαφορών, αλλά υπόθεση διαφορετικής οργάνωσης στον χώρο ενός μικρού αριθμού συστατικών. Είναι σαφές ότι αυτή η θεώρηση έχει τις ρίζες της στην ατομική θεωρία του Λεύκιππου και των επιγόνων του, Δημόκριτου και κυρίως του Επίκουρου.



Εικ. 9. Εργαστήριο Αλχημιστή, Pieter Brueghel ο πρεσβύτερος (1525-1569)

Άλλωστε, οι θεμελιωτές της σύγχρονης Χημείας Robert Boyle (1626-1691) και Φυσικής Isaac Newton (1642-1727) είχαν ασχοληθεί σε βάθος με την αλχημεία αλλά και με την επικύρωση ατομική θεωρία, όπως αυτή πέρασε στην εποχή μας μέσω του έργου του Λουκρήτιου *De Rerum Natura* (*Περί της φύσης των πραγμάτων*).

Όπως γνωρίζουμε, παρά τις προσπάθειες πολλών γενεών αλχημιστών, ο στόχος τους απεδείχθη ανέφικτος. Μετά την Αναγέννηση, τον 18ο-19ο αιώνα, οι αναγνωρίσιμες και διαφορετικές μορφές ύλης (τα σημερινά χημικά στοιχεία) πολλαπλασιάζονται και στα μέσα του 19ου αιώνα καταγράφονται 65 περίπου στοιχεία με διακριτές μακροσκοπικές ιδιότητες –όπως π.χ. στερεό, υγρό, αέριο, ειδικό βάρος, χρώμα, σιλιπνότητα, θερμοκρασία τήξης, ικανότητα σχηματισμού ενώσεων με άλλα στοιχεία κ.λπ. Η σκέψη ότι οι διαφορές ανάμεσα σε όλα αυτά τα στοιχεία δεν οφείλονται σε εγγενείς, θεμελιώδεις αιτίες αλλά είναι μάλλον αποτέλεσμα οργάνωσης στον χώρο ενός μικρού αριθμού θεμελιωδών συστατικών διατυπώνεται για πρώτη φορά ανεξάρτητα από τους Prout και Dalton γύρω στο 1810. Η σκέψη αυτή προέκυψε από την παρατήρηση ότι οι ενώσεις μεταξύ των διαφόρων στοιχείων ακολουθούν ορισμένους ποσοτικούς κανόνες που γίνονται εύκολα κατανοητοί, αν υποθέσουμε ότι το βάρος της μικρότερης μονάδας κάθε στοιχείου είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της μονάδας του ελαφρύτερου γνωστού στοιχείου που είναι το υδρογόνο. Η άποψη αυτή δεν έγινε αμέσως αποδεκτή. Μέχρι και τα μέσα του 19ου αιώνα την ανταγωνίζεται η άποψη ότι ο Δημιουργός «εν τη σοφία του» κατασκεύασε δεκάδες **εγγενώς** διαφορετικών μορφών ύλης με τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των τότε γνωστών χημικών στοιχείων.

Το 1869 ο Mendeleev δημοσιεύει τον περίφημο ομώνυμο πίνακα όπου ταξινομεί τα τότε γνωστά χημικά είδη σε οικογένειες και ομάδες στο εσωτερικό των οποίων τα στοιχεία είχαν κάποια κοινά χαρακτηριστικά και συγγένειες. Ο πίνακας του Mendeleev δεν στηρίζεται σε κάποιο δομικό μοντέλο των διαφόρων χημικών στοιχείων. Στην αρχική του μορφή έχει καθαρά ταξονομική έμπνευση και ακολουθεί συναφή λογική με αυτή που οδήγησε τον Carl Linnaeus στην ταξονομία της έμβιας ύλης.

Ακολούθησε μισός αιώνας συστηματικών πειραμάτων και παρατηρήσεων που κατέληξαν, στις αρχές του 20ού αιώνα, στο ατομικό μοντέλο των Rutherford και Bohr, σύμφωνα με το οποίο τα διαφορετικά χημικά στοιχεία δεν είναι τίποτε άλλο παρά διαφορετικές μορφές οργάνωσης στον χώρο ακέραιοι αριθμού δύο μόνο συστατικών που φέρουν, αντίστοιχα, μοναδιαία θετι-

κά και αρνητικά ηλεκτρικά φορτία. Η φύση των συστατικών αυτών και της οργάνωσής τους στον χώρο είχε διαλευκανθεί το 1911 με τα κλασικά πειράματα του Rutherford, τα οποία έδειξαν ότι τα συστατικά αυτά είναι τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια που κινούνται σε μεγάλη απόσταση γύρω από ένα θετικά φορτισμένο πυρήνα. Ο πυρήνας με τη σειρά του συγκροτείται από θετικά φορτισμένα πρωτόνια. Ηλεκτρόνια και πρωτόνια είναι ίσα σε αριθμό και φέρουν ίσο ηλεκτρικό φορτίο, αλλά η μάζα του ηλεκτρονίου είναι 2000 φορές μικρότερη από αυτή του πρωτονίου. Αυτό το πλανητικό μοντέλο των διαφόρων χημικών στοιχείων επέτρεψε την ερμηνεία των χημικών ιδιοτήτων και καθόρισε τις διαστάσεις στον χώρο όπου σταματά η Χημεία και αρχίζει η Φυσική. Με άλλα λόγια, σε ποια κλίμακα χώρου η χημική ιδιότητα χαλκός ή σίδηρος παύουν να έχουν νόημα. Όπως και στην αντίστοιχη περίπτωση των αμινοξέων στις επιστήμες της έμβιας ύλης, τα πρωτόνια και ηλεκτρόνια που σηματοδοτούν το τέλος της Χημείας είναι τα ίδια, είτε βρίσκονται σε ένα άτομο χαλκού είτε σε ένα άτομο σιδήρου. Να σημειώσουμε εδώ ότι όσο βρισκόμαστε στο εσωτερικό του επιστημονικού πεδίου της Χημείας ισχύει πάλι ένας νόμος διατήρησης των χημικών ιδιοτήτων και οντοτήτων που θα μπορούσε να διατυπωθεί ως εξής:

Σε κάθε μετασχηματισμό ενώσεων χημικών στοιχείων ο αριθμός των ατόμων κάθε χημικού στοιχείου παραμένει σταθερός ή η μεταστοιχείωση με τη χρήση χημικών μεθόδων δεν είναι εφικτή.

Είναι προφανές ότι εάν ήταν δυνατόν να διασπασθεί το άτομο του χημικού στοιχείου στα συστατικά του και αυτά να επανενωθούν σε διαφορετικούς συνδυασμούς οι παραπάνω νόμοι διατήρησης δεν θα ίσχυαν.

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΗ «ΝΕΑ» ΦΥΣΙΚΗ

Η επιτυχία του πλανητικού ατομικού μοντέλου να εξηγήσει πολλές πειραματικές παρατηρήσεις καθώς βεβαίως και τον ταξονομικό πίνακα του Mendeleev επέφερε μια τεράστια κρίση στην επιστήμη των αρχών του 20ού αιώνα. Ο λόγος ήταν ότι το πλανητικό μοντέλο του ατόμου βρισκόταν σε αντίθεση με το οικοδόμημα της κλασικής Φυσικής της εποχής, το οποίο είχε ήδη

αρχίσει να κλονίζεται δέκα χρόνια νωρίτερα. Σύμφωνα με το οικοδόμημα αυτό, το πλανητικό άτομο δεν ήταν δυνατόν να υπάρξει διότι τα αρνητικά ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από τον θετικό πυρήνα πρωτονίων πρέπει υποχρεωτικά να επιβραδύνονται. Κάτι τέτοιο θα συνέβαινε σε ένα τεχνητό δορυφόρο εάν υψίστατο τριβή καθώς περιστρέφεται γύρω από τη Γη. Η κλασική Φυσική προβλέπει ότι κάθε ηλεκτρικά φορτισμένο σωματίδιο (π.χ. το ηλεκτρόνιο), που κινείται σε τροχιά γύρω από ένα άλλο ηλεκτρικά φορτισμένο σωματίδιο (π.χ. το πρωτόνιο), υψίσταται κάτι σαν «τριβή» που οδηγεί σε επιβράδυνση. Αποτέλεσμα αυτής της επιβράδυνσης είναι ότι προκειμένου η φυγόκεντρος δύναμη που δρα πάνω στο περιστρεφόμενο σωματίδιο να ισορροπήσει με την ηλεκτρική δύναμη έλξης μεταξύ των δύο πρέπει να μειώνεται συνεχώς η απόσταση μεταξύ τους. Τελικά το ηλεκτρόνιο καταλήγει, σε απειροελάχιστα μικρό χρονικό διάστημα, πάνω στο πρωτόνιο.

Το αδιέξοδο αυτό και πολλά άλλα που κατέτρεχαν την κλασική Φυσική στο γύρισμα του 19ου αιώνα βρήκαν τη λύση τους στο νέο οικοδόμημα της Φυσικής που κτίστηκε τις δύο πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα πάνω σε δύο επαναστατικές αρχές. Πρόκειται για την αρχή της **ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας** (Αϊνστάιν) και την αρχή της **δυσδικής φύσης σωματιδίων και κυμάτων** (Planck-Bohr κ.λπ.). Ο συνδυασμός των δύο αυτών αρχών αφαιρεί, κατά τη γνώμη μου, κάθε νόημα από την αναζήτηση του ελαχίστου πέραν αυτών που ονομάσαμε πρωτόνιο και ηλεκτρόνιο. Αυτό δεν σημαίνει ότι φθάσαμε στο τέλος, αλλά μάλλον ότι από το σημείο αυτό και μετά ο κόσμος δεν είναι πια κατανοητός με τα εργαλεία της γλώσσας μας και των εννοιών και κανόνων σκέψης που αυτή μας επιβάλλει. Δεν είναι θέμα ανεπάρκειας λέξεων ή όρων. Απλά η έννοια ενός ή περισσότερων διακριτών συστατικών των δομών της ύλης παύει να έχει νόημα. Η ύλη παύει να είναι ένα πράγμα με διακριτά συστατικά και γίνεται διαδικασία. Η χρήση των λέξεων *ενέργεια* και *κύμα* για την άλλη όψη των λέξεων *μάζα* και *σωματίδιο* είναι αποκαλυπτική. Τόσο η ενέργεια όσο και το κύμα είναι έννοιες ρευστές, δυναμικές, μεταλλασσόμενες, σε αντίθεση με τη χειροπιαστή, αμετάβλητη στον χρόνο, διακριτή και ταυτοποιήσιμη φύση των εννοιών *μάζα* και *σωματίδιο*.

Το ουσιαστικό γίνεται ρήμα

Η ζωή γίνεται *ζει*, το χαρτί *χαρτίζει*, το τραπέζι *τραπέζει* και κάθε επικοινωνία μεταξύ μας που στηρίζεται στα εργαλεία της γλώσσας μας σταματά. Θα προσπαθήσω παρακάτω να εξηγήσω γιατί.

ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ (1);

Όπως υπαινίχθηκα παραπάνω, θεωρώ ότι η αναζήτηση του Δημοκρίτειου ελαχίστου τελειώνει με την ανακάλυψη των πρωτονίων και ηλεκτρονίων. Αυτό δεν σημαίνει ότι το πρωτόνιο, στο οποίο για λόγους οικονομίας θα εσιάσω το υπόλοιπο της διάλεξης, δεν έχει εσωτερική δομή και περαιτέρω συστατικά. Σημαίνει απλά ότι η φύση της δομής και των συστατικών του πρωτονίου δεν μπορεί να γίνει κατανοητή με τα εργαλεία της καθομιλούμενης γλώσσας που διαμορφώνουν και διαμορφώνονται από τον εγκέφαλο και τα ερεθίσματά του. Ο ισχυρισμός αυτός θεμελιώνεται στους δύο πυλώνες της σύγχρονης Φυσικής που κατέγραψα παραπάνω.

Αρχή της ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας

Στη μέχρι τώρα διαδρομή μας ξεκινήσαμε από ένα μακροσκοπικό αντικείμενο, ένα φύλλο δρυός, και καταλήξαμε στα πρωτόνια που συγκροτούν τα άτομα των χημικών στοιχείων. Στη διαδρομή αυτή περάσαμε από τη Βοτανική, τη Βιολογία, τη Χημεία για να φθάσουμε τελικά στη Φυσική. Για κάθε μία από τις επιστήμες αυτές είδαμε πως οι ιδιότητες των οντοτήτων με τις οποίες ασχολούνται προκύπτουν από τη χαρακτηριστική οργάνωση στον χώρο μικρότερων οντοτήτων, των αντίστοιχων ελαχίστων. Επιπλέον, είδαμε πως τα ελάχιστα αυτά αμινοξέα χημικά άτομα και πρωτόνια αντίστοιχα έχουν μια αυτοτελή διακριτή ύπαρξη που μας επιτρέπει να τα μελετούμε πειραματικά και να τα χειριζόμαστε. Για να το επιτύχουμε αυτό αποσυνθέσαμε πειραματικά, σε κάθε πεδίο, μια οργανωμένη δομή της ύλης στα συστατικά της. Η αποσύνθεση αυτή δεν έγινε αυθόρμητα, δεν είναι αποτέλεσμα μιας αυτενέργειας. Απαιτήθηκε μια εξωτερική επέμβαση, εκούσια ή ακούσια, για να διαρραγεί η σταθερότητα της δομής στον χώρο.

Η σταθερότητα κάθε δομής χαρακτηρίζεται από την **ενέργεια δεσμού** μεταξύ των συστατικών της δομής. Όσο πιο μεγάλη είναι αυτή η ενέργεια δεσμού, τόσο πιο σταθερή είναι η δομή.

Όλοι γνωρίζουμε ότι η ενέργεια μιας φλόγας αρκεί για να καταστραφεί η δομή των αμινοξέων ενός έμβιου συστήματος ενώ η ίδια φλόγα, παρά τις προσπάθειες γενεών αλχημιστών, δεν αρκεί για να αλλοιώσει τη φύση ενός χημικού στοιχείου. Για να γίνει αυτό χρειάζεται πολύ μεγαλύτερη ενέργεια, τουλάχιστον ίση με την ενέργεια δεσμού των συστατικών του πυρήνα του χημικού στοιχείου. Στη φύση, η ενέργεια που απαιτείται για να αποσυντεθεί στα εξω συνίσταται μια οργανωμένη δομή αυξάνει όσο μικραίνουν οι διαστάσεις της δομής στον χώρο. Τελικά φθάνουμε σε κάποια κλίμακα στον χώρο όπου η ενέργεια δεσμού είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τη μάζα των συστατικών. Εφεξής παύει να έχει νόημα μια θεώρηση της δομής ως οργανωμένο σύστημα διακριτών συστατικών.

Είμαι βέβαιος ότι οι φυσικοί θα αντιτείνουν δικαίως ότι, εάν η ενέργεια δεσμού είναι ηλεκτρομαγνητικού τύπου, τότε θα είμαστε σε θέση να διασπάσουμε το πρωτόνιο. Ο λόγος είναι ότι ακόμα και στην κλίμακα ενός πρωτονίου (10^{-15} m, δηλαδή ένα εκατομμύριο φορές μικρότερη από την κλίμακα της εικόνας 6) η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια δεσμού είναι πολύ πιο μικρή από τη μάζα του πρωτονίου. Δυστυχώς όμως για την αναζήτηση του ελαχίστου, αλλά ευτυχώς για την ύπαρξη του κόσμου μας, η φύση της ενέργειας δεσμού μεταξύ των συστατικών του πρωτονίου, των quarks, δεν είναι ηλεκτρομαγνητική. Έτσι λοιπόν το πρωτόνιο είναι μια εξαιρετικά (πιθανώς απόλυτα) σταθερή δομή για την οποία γνωρίζουμε μεν ότι έχει συστατικά, το οποία όμως είναι καταδικασμένα να βρίσκονται εγκλωβισμένα μέσα στη δομή. Η απελευθέρωση των συστατικών αυτών από τη δομή του πρωτονίου απαιτεί τόσο μεγάλη ενέργεια ώστε, λόγω της αρχής της ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας, η ενέργεια που απαιτείται για τον απεγκλωβισμό τους οδηγεί στη δημιουργία νέων συστατικών (quarks).

Η ανάλυση της φύσης του δεσμού μεταξύ των συστατικών της δομής που ονομάσαμε πρωτόνιο ξεπερνά τα όρια αυτής της διάλεξης. Σημασία έχει να

συγκρατήσετε ότι το ελάχιστο της ύλης, το πρωτόνιο, έχει μεν συστατικά αλλά ο αριθμός τους είναι εγγενώς απροσδιόριστος και ότι τα συστατικά αυτά υφίστανται μόνο στο εσωτερικό της δομής. Η απελευθέρωσή τους είναι αδύνατη. Η αναζήτηση του δημοκρίτειου ελαχίστου της ύλης έφθασε στο τέλος.

Πριν περάσουμε στη δεύτερη αρχή-πυλώνα της Φυσικής, την αρχή της **δυναμικής φύσης σωματιδίων και κυμάτων**, θα κάνουμε μια παρένθεση για να συνδέσουμε όλα τα παραπάνω με την αρχαία φιλοσοφική σκέψη, την ατομική θεωρία που με βάση τις γνωστές πηγές ξεκινά από τον Λεύκιππο.

ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ ΣΤΙΣ ΡΙΖΕΣ

Η συμβατική και υπεραπλουστευμένη αντίληψη που επικρατεί για τον τρόπο με τον οποίο οι θεμελιωτές της Φιλοσοφίας προσέγγισαν τη φύση φέρνει συνήθως σε αντίθεση την υλιστική θέση του Δημοκρίτου με την ιδεαλιστική θέση του Πλάτωνα.

Για τις θεωρίες του Λευκίππου (c. 480-420 π.Χ.) και του Δημοκρίτου (c. 460-370 π.Χ.) οι πηγές είναι φειδωλές και αποσπασματικές. Εκτός από τις αναφορές στον Αριστοτέλη (c. 384-322 π.Χ.), οι υπόλοιπες προέρχονται από πολύ μεταγενέστερους συγγραφείς (Κικέρωνας, Σέξτος Εμπειρικός, Σιμπλίκιος, Αέτιος, Διογένης Λαέρτιος, Γαληνός κ.ά.). Οι θεωρίες τους εμπλουτίστηκαν και υπέστησαν αρκετές διαφοροποιήσεις και επεκτάσεις στον αιώνα που ακολούθησε τον Δημόκριτο και βρήκαν την πιο ολοκληρωμένη έκφρασή τους στο έργο του Επίκουρου (c. 340-270 π.Χ.). Για την τελευταία επικούρεια φάση έχουμε μια μοναδική σε έκταση πηγή από τον 1ο π.Χ. αιώνα. Πρόκειται για το εκπληκτικό ποίημα του Λουκρήτιου (Titus Lucretius Carus) με τίτλο *De Rerum Natura* (*Περί της φύσης των πραγμάτων*).

Περίπου την ίδια περίοδο με τον Δημόκριτο, ο Πλάτωνας (c. 428-348 π.Χ.) αντλώντας από τη σκέψη του Πυθαγόρα (c. 570-480 π.Χ.), διατυπώνει με τον πιο ολοκληρωμένο τρόπο τη θεωρία του για τη φύση των πραγμάτων σε ένα από τα τελευταία του έργα, στον διάλογο *Τίμαιος* που γράφεται γύρω στο 370

π.Χ. Πολλοί μελετητές θεωρούν ότι, παρ' όλες τις φαινομενικές αντιθέσεις, ο Πλατωνικός *Τίμαιος* είναι βαθιά επηρεασμένος από τη δημοκρίτεια αντίληψη του κόσμου. Η προσωπική ανάγνωση του διαλόγου αυτού με οδηγεί στο ίδιο συμπέρασμα, στον βαθμό που υιοθετείται μια ατομική μεθοδολογία, ακόμα κι αν αυτή δεν επικαλείται υλικά άτομα. Πολύ συνοπτικά μπορούμε να ισχυρισθούμε ότι στο γύρισμα του 5ου προς τον 4ο π.Χ. αιώνα διατυπώνονται δύο ατομικές θεωρίες: μία υλιστική και μία μαθηματική.

Η **υλιστική ατομική θεωρία** (Λεύκιππος, Δημόκριτος, Επίκουρος) επιδιώκει να ερμηνεύσει τα φαινόμενα της ύλης (και της ζωής) ως αποτέλεσμα και έκφραση των συνδυασμών, κινήσεων και συγκρούσεων διαφόρων ειδών διακριτών, αδιαίρετων στοιχειωδών υλικών σωματιδίων που ονομάζουμε άτομα. Εκτός από τα άτομα, η θεωρία χρειάζεται και την ύπαρξη του κενού προκειμένου να καθίσταται δυνατή η κίνηση των ατόμων. Τα άτομα δεν έχουν άλλες ιδιότητες εκτός από έκταση, σχήμα, βάρος. Όλες οι άλλες ιδιότητες της ύλης –χρώμα, θερμότητα, γεύση, σκληρότητα κ.λπ.– δεν είναι εγγενείς αλλά προκύπτουν από τους συνδυασμούς, την οργάνωση και ενδεχομένως τα σχήματα των ατόμων. Βασικό χαρακτηριστικό της θεωρίας είναι ότι τα μακροσκοπικά φαινόμενα που παρατηρούμε είναι αποτέλεσμα διεργασιών μεταξύ ατόμων σε μικροσκοπική κλίμακα.

Η **μαθηματική ατομική θεωρία** (Πυθαγόρας, Πλάτων) υιοθετεί κι αυτή διακριτά, αδιαίρετα στοιχειώδη συστατικά, χωρίς όμως υλική υπόσταση. Πρόκειται για άυλες μαθηματικές (γεωμετρικές) έννοιες. Πάλι όμως τα φαινόμενα ερμηνεύονται μέσω συνδυασμών και αναδιατάξεων των στοιχειωδών συστατικών, των ατόμων. Η ύπαρξη κενού δεν είναι υποχρεωτική.

Σε όσους φιλοσόφους αμφισβητούν αυτή τη διατύπωση της πλατωνικής σκέψης συνιστώ μια νέα προσεκτική και κριτική ανάγνωση του *Τίμαιου*.

Υπό το πρίσμα αυτό, οι αναλογίες και ισομορφίες μεταξύ των αντιλήψεων των αρχών του 4ου π.Χ. αιώνα και των δύο αρχών της σύγχρονης Φυσικής, ισοδυναμία μάζας και ενέργειας και δυαδική φύση σωματιδίου-κύματος, που διατυπώνονται στον 20ό αιώνα μ.Χ., είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες. Θα λέγα-

με απλουστεύοντας πως οι έννοιες μάζα και σωματίδιο είναι κοντά στη δημοκρίτεια λογική, ενώ οι έννοιες ενέργεια και κύμα έχουν μια πλατωνική χροιά.

Εάν τώρα ακολουθήσουμε τη δημοκρίτεια παράδοση μέσα από το έργο του **Επίκουρου**, θα δούμε ότι υπάρχουν ακόμα πιο εντυπωσιακές αναλογίες και ισομορφίες. Ένα από τα βασικά προβλήματα που προσπάθησε να αντιμετωπίσει ο Επίκουρος είναι η συμφιλίωση της δημοκρίτειας υλιστικής ατομικής θεωρίας με τις επικρατούσες τότε απόψεις για την επ' άπειρον διαιρεσιμότητα της ύλης.

Θα παρουσιάσω τη σκέψη του σε ελεύθερη μετάφραση, από την αγγλική μετάφραση του ποιήματος του Λουκρήπιου (W.H.D.Rouse-M.F.Smith, Harvard University Press, 1997) *De Rerum Natura*, I.599-634..

«Επί πλέον, αν δεν υπάρχουν άτομα, ακόμα και τα μικρότερα των σωμάτων θα αποτελούνται από άπειρο αριθμό μερών καθώς για το μισό του μισού θα υπάρχει πάλι μισό και τίποτα δεν θα σταματά αυτή τη διαίρεση. Ποια θα είναι λοιπόν η διαφορά ανάμεσα στο σύνολο και στο μικρότερο των πραγμάτων; Τίποτα δεν θα τα διαφοροποιεί. Πρέπει λοιπόν να παραδεχτούμε ότι υπάρχουν πράγματα που δεν επιδέχονται περαιτέρω διαίρεση [...]. Τα άτομα όμως, παρόλο που δεν επιδέχονται διαίρεση, χαρακτηρίζονται από κάποια διάσταση στον χώρο και από κάποιο σχήμα. Για τον λόγο αυτό πρέπει και αυτά με τη σειρά τους να έχουν μέρη (*minimae partes*, τα ελάχιστα). Τα ελάχιστα αυτά μέρη συγκροτούν μεν το άτομο αλλά δεν έχουν υπόσταση από μόνα τους. Υποχρεωτικά συγκροτούνται, δένουν μεταξύ τους και δεν μπορούν ποτέ να υπάρξουν από μόνα τους [...]. Τέλος, αν η φύση επέτρεπε στα πράγματα να διαιρούνται στα ελάχιστα αυτά μέρη, τότε δεν θα μπορούσε να ανασυνθέσει άλλα πράγματα από τα ελάχιστα αυτά, επειδή όντας ελάχιστα και χωρίς περαιτέρω μέρη δεν θα είχαν τις ιδιότητες εκείνες που απαιτούνται για να συγκροτηθεί οτιδήποτε».

Το απόσπασμα αυτό αναδεικνύει ακόμα πιο έντονα τις αναλογίες και τις ισομορφίες ανάμεσα στη σύγχρονη σκέψη και σε αυτή του 4ου αιώνα π.Χ. Τα δημοκρίτεια άτομα είναι τα πρωτόνια και τα επικούρεια ελάχιστα (*minimae partes*) είναι τα quarks. Καθώς θα έλεγαν και οι Γάλλοι, «plus ça change, plus c'est la même chose!».

Αυτή η ιδιοφυής και απόλυτα σύγχρονη επικούρεια σύλληψη ενός αδιαίρετου ατόμου, που όμως περιέχει μέρη, δεν είναι ιδιαίτερα γνωστή στους Νεοέλληνες. Ο λόγος είναι πολύ απλός. Μέχρι και σήμερα δεν υπάρχει στρωτή μετάφραση από τα λατινικά στα νέα ελληνικά του μνημειώδους ποιήματος του Λουκρήτιου (7-8.000 στίχοι), το οποίο κατά κύριο λόγο ασχολείται με την επικούρεια φυσική, την ηθική και τη θεωρία της γνώσης. Πέραν τούτου, η σκέψη του Επίκουρου λογοκρίθηκε, παραποιήθηκε και διαγράφηκε από τη χριστιανική γραμματεία, με αποτέλεσμα να έχει επιβιώσει στην κοινή αντίληψη των ημερών μας μόνο η γνωστή ρήση που του αποδίδεται ότι «αρχή και ρίζα παντός αγαθού η της γαστρος ηδονή». Η παρουσία γυναικών στον επικούρειο κύκλο χαρακτηρίστηκε δείγμα έκλυτου ήθους και μέχρι σήμερα τον κατατρέχουν φονταμενταλιστές-creationist ιεροκήρυκες στις εκκλησίες της Αμερικής, διότι τον θεωρούν εμπνευστή της θεωρίας της εξελίξης του Δαρβίνου. Πράγματι, σε άλλο απόσπασμα του *De Rerum Natura* βρίσκουμε στα σπάργανα τον Δαρβίνο.

Μετά από μια αναφορά στην αυτοφυή εμφάνιση της ζωής πάνω στη Γη, ο Λουκρήτιος, μεταφέροντας τη σκέψη του Επίκουρου, γράφει (*De Rerum Natura*, V 826-831, V 855-859):

«Κάποτε η Γη έφθασε στα όρια της ικανότητάς της να γεννά, σαν τη γυναίκα που την εξάντλησε ο χρόνος. Γιατί ο χρόνος αλλάζει τη φύση του κόσμου και τη μια κατάσταση πραγμάτων τη διαδέχεται μια άλλη, τίποτε δεν παραμένει αναλλοίωτο: όλα τα πράγματα κινούνται και είναι υποχρεωμένα από τη φύση τους να αλλάζουν [...] και πολλά είδη ζώων πρέπει να χάθηκαν τότε, αναγκαστικά, καθώς δεν μπόρεσαν με τον πολλαπλασιασμό να εξασφαλίσουν την επιβίωσή τους. Γιατί ό,τι πλάσματα βλέπεις τώρα ν' ανασαίνουν τον ζωοδότη αέρα, τα ίδια, από την αρχή, προστατεύτηκαν και εξασφάλισαν την επιβίωσή τους άλλοτε με την πονηριά, άλλοτε με τη γενναιότητα ή το λιγότερο με τη γρηγοράδα τους».

Το κίνητρο του Επίκουρου για να μελετήσει τη φύση είναι άκρως ηθικό. Θεωρεί ότι για να απολαύσουμε μια ευτυχισμένη ζωή πρέπει να απαλλαγούμε από τα άγχη και κυρίως από το άγχος του θανάτου, από το στρες όπως θα λέγαμε σήμερα. Πιστεύει ότι ο μόνος τρόπος να απαλλαγούμε από το άγχος του

θανάτου είναι να καταλάβουμε τη φύση και μέσω αυτής την έκφρασή της, που είναι το φαινόμενο της ζωής. Για τον λόγο αυτό ασχολείται με τη Φυσική και για τον ίδιο λόγο γίνεται ατομιστής. Η σχολή του, στην οποία είναι αξιοσημείωτη η παρουσία γυναικών, έχει τεράστια απήχηση και οι επίγονοί του συνεχίζουν το έργο του μέχρι τον 5ο αιώνα μ.Χ. Ο Λουκρήτιος είναι επικούρειος και απευθύνει το ποίημά στον Ρωμαίο Memmius, γόνου αριστοκρατικής οικογένειας, για να τον πείσει να υιοθετήσει την επικούρεια φιλοσοφία.

ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ (2);

Αν και η **ισοδυναμία μάζας και ενέργειας** μας ξενίζει, εντούτοις η νοηματική ρήξη που εισάγει σε σχέση με την κλασική αντίληψη των εννοιών μάζα και ενέργεια δεν είναι ανυπέρβλητη. Κατά κάποιο τρόπο οι δύο έννοιες συνδέονται διαισθητικά και αισθαντικά μέσω της έννοιας της δύναμης. Αντίθετα, η διαισθητική κατανόηση της **δυσιαδικής φύσης σωματιδίων και κυμάτων** είναι αδύνατη. Το νοηματικό χάσμα με την κοινή, κλασική αντίληψη των εννοιών σωματίδιο και κύμα δεν είναι δυνατόν να γεφυρωθεί. Όπως μερικοί γνωρίζετε, το δίλημμα σωματίδιο ή κύμα, πρωτοεμφανίζεται τον 17ο αιώνα σε σχέση με οπτικά φαινόμενα. Εκφράζεται με δύο φαινομενικά ασύμβατες θεωρίες για τη φύση του φωτός, όπου η κάθε μία εξηγεί μόνο ένα υποσύνολο οπτικών φαινομένων. Πρόκειται για τη **σωματιδιακή** αντίληψη του φωτός, με κύριο εκφραστή τον Isaac Newton (1642-1727), που περιγράφει ικανοποιητικά τα φαινόμενα της ανάκλασης και διάθλασης και για την **κυματική** αντίληψη, με κύριο εκφραστή τον Christiaan Huygens (1629-1695), που αποδίδει με επιτυχία τα φαινόμενα της περίθλασης και του συντονισμού. Το νέο στοιχείο που εισβάλλει στον 20^ο αιώνα και ανατρέπει πλήρως την κοινή λογική είναι η διαπίστωση ότι δεν είναι μόνο το φως, τα οπτικά φαινόμενα, που εμφανίζουν αυτό τον δυισμό. Η διπλή φύση αφορά και στη συμπεριφορά οντοτήτων όπως τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια ακόμα και τα χημικά άτομα που σύμφωνα με την κλασική αντίληψη είναι υλικά σωματίδια. Το 1924 ο Α. Αϊνστάιν εκφράζει το δίλημμα ως εξής:

«There are therefore now two theories of light, both indispensable, and –as one must admit today in spite of twenty years of tremendous effort on the part of theoretical physicists– without any logical connections».

«Υπάρχουν λοιπόν τώρα δύο θεωρίες για τη φύση του φωτός. Και οι δύο είναι εξίσου αναγκαίες και πρέπει να δεχτούμε ότι, παρά την τεράστια προσπάθεια είκοσι ετών Θεωρητικής Φυσικής, δεν έχει εντοπιστεί λογική διασύνδεση μεταξύ τους».

(A. Einstein, «The Compton Experiment», Appendix 3, in R S Shankland (Ed.), *Scientific Papers of Arthur Holly Compton, X-Ray and Other Studies*, University of Chicago Press, Chicago, 1975).

Μέχρι το τέλος της ζωής του, ο Αϊνστάιν δεν κατάφερε να συμφιλιώσει αυτές τις δύο όψεις των πραγμάτων, παρόλο που τις διαχειρίστηκε αριστοτεχνικά στην πρακτική του ως θεωρητικός φυσικός.

Το δίλημμα σχετικά με τη φύση του φωτός αλλά και των οντοτήτων που οι φιλόσοφοι θα ονόμαζαν σωματίδια σηματοδοτεί, από μια δεύτερη σκοπιά, το τέλος της αναζήτησης του ελαχίστου της ύλης που ξεκίνησε πριν 25 αιώνες. Όπως συνέβη και με την ισοδυναμία μάζας και ενέργειας, η δυαδική φύση σωματιδίων και κυμάτων μάς επιβάλλει μια νέα αντίληψη του κόσμου που αφαιρεί κάθε νόημα από την περαιτέρω αναζήτηση για ελάχιστα. Η αναζήτηση αυτή θα είχε νόημα μόνο εφόσον παραμένουμε στον χώρο της κλασικής φυσικής και χειριζόμαστε λέξεις και έννοιες των οποίων το νόημα είναι σαφές. Μόνο τότε είμαστε σε θέση να αρθρώσουμε έναν συγκροτημένο και αμοιβαία κατανοητό λόγο. Δυστυχώς, όταν θελήσουμε να περιγράψουμε και να αναλύσουμε οντότητες και φαινόμενα που χαρακτηρίζονται από πολύ μικρές διαστάσεις στον χώρο και τον χρόνο, οι λέξεις και οι έννοιες μάς προδίδουν. Και τότε, επειδή δεν μπορούμε να εκφράσουμε συγκροτημένο αμοιβαία κατανοητό λόγο, είναι καλύτερα να σιωπούμε. Όλα τα λεγόμενα «παράδοξα» της Κβαντικής Φυσικής που βασάνισαν και τον Αϊνστάιν μέχρι το τέλος της ζωής του έχουν τη ρίζα τους σε αυτή την ανεπάρκεια των εννοιών και της γλώσσας.

Το πρόβλημα της αδυναμίας κατανόησης των αρχών της σύγχρονης Φυσικής με την έννοια της κοινής λογικής έχει απασχολήσει φιλοσόφους και φυσικούς από τις αρχές του περασμένου αιώνα. Παρά την τεράστια βιβλιογραφία, δεν νομίζω ότι βρισκόμαστε σήμερα πιο κοντά στην κατανόηση απ' ό,τι στις αρχές του περασμένου αιώνα. Στο μεταξύ κάθε νέα γενιά φυσικών –ο γράφων δεν αποτέλεσε εξαίρεση– ταλανίζεται να «καταλάβει» τι σημαίνει αυτό που διδάσκεται και χρησιμοποιεί στην καθημερινή του πρακτική.

Ιδιαίτερα αποκαλυπτικός στο θέμα αυτό είναι ο Richard Feynman (1918-1988), Νόμπελ Φυσικής 1965, ο οποίος με αφοπλιστική ειλικρίνεια συμβουλεύει τα εξής:

«The difficulty really is psychological and exists in the perpetual torment that results from your saying to yourself, “But how can it be like that?” Which is a reflection of uncontrolled but utterly vain desire to see it in terms of and analogy with something familiar; I will simply describe it [.....].».

«On the other hand, I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics. So do not take the lecture too seriously, feeling you really have to understand in terms of some model what I am going to describe, but **just relax and enjoy** it. I am going to tell you what nature behaves like. If you will simply admit that maybe she does behave like this, you will find her a delightful entrancing thing. Do not keep saying to yourself, if you can possibly avoid it, “But how can it be like that?” because you will get “down the drain”, into a blind alley from which nobody has yet escaped. Nobody knows how it can be like that».

«Πρόκειται για μια δυσκολία ψυχολογικής φύσεως, αποτέλεσμα του αέναου μαρτυρίου που προκαλείται από την απαίτησή μας να απαντήσουμε στο ερώτημα: “Πώς είναι δυνατόν να είναι έτσι τα πράγματα;” Το ερώτημα αυτό αντανακλά την ανεξέλεγκτη και απόλυτα μάταιη επιθυμία να δούμε τα πράγματα κατ' αναλογία με κάτι που μας είναι οικείο. Εγώ δεν θα σας περιγράψω τον κόσμο με όρους και αναλογίες που σας είναι οικείες, απλώς θα το περιγράψω όπως είναι [...]. Από την άλλη πλευρά, μπορώ να σας διαβεβαιώσω ασφαλώς

ότι δεν υπάρχει κανείς στον κόσμο που να καταλαβαίνει την κβαντική μηχανική. Μην πάρετε λοιπόν στα σοβαρά τη διάλεξή μου νιώθοντας ότι πρέπει να καταλάβετε αυτό που περιγράφω με βάση κάποιο μοντέλο. Αρκεί να χαλαρώσετε και να απολαύσετε. Εγώ θα σας μιλήσω για το πώς συμπεριφέρεται η φύση. Αν απλά δεχτείτε ότι ίσως πράγματι συμπεριφέρεται έτσι, θα την αισθανθείτε σαν ένα εξάισιο, γοπτευτικό πλάσμα. Αν μπορείτε να το αποφύγετε, μην επιμένετε στην ερώτηση “Πώς είναι δυνατόν να είναι έτσι τα πράγματα;” γιατί τότε θα καταλήξετε “στον πάτο”, σε ένα αδιέξοδο από το οποίο κανείς μέχρι σήμερα δεν έχει επιστρέψει. Κανείς δεν γνωρίζει γιατί είναι έτσι τα πράγματα» (Richard P. Feynman, *The Character of Physical Law*, MIT Press, 1967).

Αυτά μας συμβουλεύει ένας από τους μεγαλύτερους φυσικούς του 20ού αιώνα που τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ το 1965. Μην τολμήσετε να προσπαθήσετε να καταλάβετε, γιατί θα καταστραφείτε. Αντ’ αυτού χαλαρώστε, αισθανθείτε και απολαύστε, μας παροτρύνει λοιπόν ο Feynman.

Αυτή η συνταγή για να λυθεί το πρόβλημα της αδυναμίας κατανόησης χαρακτηρίζει τον τρόπο σκέψης που επεκράτησε στη Δυτική ακτή των Η.Π.Α. στις δεκαετίες μετά το 1950. Ένα άλλο φαινόμενο που σχετίζεται με τη μετατόπιση του κέντρου βάρους της Φυσικής από την Ανατολική στη Δυτική ακτή των Η.Π.Α. μετά το 1950 είναι η σταδιακή εγκατάλειψη της ελληνικής και λατινικής ορολογίας που κυριαρχούσε μέχρι τότε λόγω της κλασικής παιδείας των Ευρωπαίων φυσικών του 19ου και των αρχών του 20ού αιώνα. Τα συστατικά του πρωτονίου βαφτίζονται πλέον *quark* και αυτά με τη σειρά τους χαρακτηρίζονται από ιδιότητες που αναφέρονται ως *flavor* (γεύσεις; αρώματα;), με περίεργες ονομασίες όπως *charm* (γοπτεία), *strangeness* (παραξενιά), *beauty* (κάλλος) και *truth* (αλήθεια)!

Αυτή η νέα ονοματοδοτική πρακτική δεν είναι απλά ένα παιχνίδι. Η χρήση ελληνικών και λατινικών όρων –όπως άτομο, ηλεκτρόνιο, πρωτόνιο και νετρόνιο– εξυπηρετεί μια νομιμοποιητική λειτουργία για το οικοδόμημα της Φυσικής. Δίνει την ψευδαίσθηση ότι τα συστατικά αυτά έχουν πολύ μεγάλο ιστορικό βάθος, ενώ οι λέξεις ηλεκτρόνιο, πρωτόνιο και νετρόνιο εισέχθησαν στην ορολογία της Φυσικής μόλις στο τέλος του 19ου και στις αρχές του 20ού αιώνα.

Ένας άλλος διάσημος φυσικός του 20ού αιώνα, ο David Bohm (1917-1992), δεν αρκέστηκε στο «χαλαρώστε και απολαύστε» του Feynman και προσπάθησε να καταλάβει την αδυναμία κατανόησης της νέας φυσικής. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αδυναμία κατανόησης έχει τις ρίζες της στην ίδια μας τη γλώσσα, η οποία μας επιβάλλει και τα όρια πέρα από τα οποία δεν μπορούμε να καταλάβουμε ούτε να εκφραστούμε για τον κόσμο.

«Thought tends to create fixed structures in the mind, which can make dynamic entities seem to be static. To illustrate with an example, we know upon reflection that all manifest objects are in a state of constant flux and change. So there is really no such thing as a thing; all objects are dynamic processes rather than static forms. To put it crudely, one could say that nouns do not really exist, only verbs exist. **A noun is just a “slow” verb**; that is, it refers to a process that is progressing so slowly so as to appear static. For example, the paper on which this text is printed appears to have a stable existence, but we know that it is, at all times including this very moment, changing and evolving towards dust. Hence paper would more accurately be called papering –to emphasize that it is always and inevitably a dynamic process undergoing perpetual change».

«Η ανθρώπινη σκέψη έχει την τάση να κατασκευάζει σταθερές νοητικές δομές οι οποίες συνήθως μετατρέπουν δυναμικές, εξελισσόμενες οντότητες σε σταθερές, αναλλοίωτες έννοιες. Για να γίνω πιο σαφής, όλοι γνωρίζουμε ότι τα εμφανή πράγματα βρίσκονται σε κατάσταση συνεχούς ροής και αλλαγής. Στην πραγματικότητα λοιπόν δεν υπάρχουν διακριτά, ταυτοποιήσιμα πράγματα διότι αυτά συγκροτούνται από δυναμικές διαδικασίες και δεν αποτελούν στατικές μορφές. Υπεραπλουστεύοντας, θα έλεγα ότι τα ουσιαστικά δεν υφίστανται, μόνο τα ρήματα. Κατά κάποιο τρόπο το ουσιαστικό δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένα πολύ αργό ρήμα, δηλαδή αναφέρεται σε μια διαδικασία που εξελίσσεται τόσο αργά ώστε να δίνει την αίσθηση ότι δεν αλλάζει. Για παράδειγμα, το χαρτί πάνω στο οποίο τυπώθηκε το κείμενο αυτό μοιάζει να έχει μια διάρκεια, μια σταθερή υπόσταση, γνωρίζουμε όμως ότι, ακόμα και τη στιγμή αυτή που διαβάζετε, η φύση του αλλοιώνεται και ότι σε βάθος χρόνου θα καταλήξει σε

σκόνη. Με άλλα λόγια αντί για το ουσιαστικό *χαρτί* θα έπρεπε να χρησιμοποιούμε το ρήμα *χαρτίζει* προκειμένου να τονίσουμε ότι πρόκειται, παντοτινά και αναπόφευκτα, για μια διαδικασία αένας αλλαγής»

(Prof. David Bohm, *Wholeness and the implicate order*, London, Routledge and Kegan Paul, 1980).

Η απλοϊκή, ωμή και κυνική θέση του Feynman καθώς και η βαθύτερη ανάλυση του Bohm κόβουν τον ομφάλιο λώρο μεταξύ Φιλοσοφίας και Φυσικής. Ο καιρός θα δείξει αν ο ανθρώπινος νους καταφέρει κάποτε να τον επανασυνδέσει.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ο φιλοσοφικός διάλογος προϋποθέτει την ύπαρξη ενός αμοιβαία κατανοητού corpus εννοιών καθώς και των κανόνων για τη διαχείρισή τους, δηλαδή μια κοινή γλώσσα. Στο μέτρο που οι εξελίξεις του τελευταίου αιώνα στη φυσική μάς οδηγούν στο συμπέρασμα ότι μια τέτοια γλώσσα δεν είναι δυνατόν να υπάρξει, θα πρέπει να δεχτούμε ότι η φιλοσοφική αναζήτηση του ελαχίστου έφθασε στο τέλος. Στο όριο των πολύ μικρών διαστάσεων και των πολύ υψηλών ενεργειών δεν είναι πλέον δυνατή η απεικόνιση της φύσης με τα εργαλεία της γλώσσας. Αυτό δεν σημαίνει ότι η αναζήτηση σταματά. Απλώς, η κωδικοποίηση του κόσμου μας γίνεται εφεξής με τη συμβολική γλώσσα της Φυσικής. Η κωδικοποίηση αυτή μας επιτρέπει να διαχειριζόμαστε κβαντικά φαινόμενα (τρανζίστορ, λέιζερ κ.λπ.) χωρίς όμως να τα κατανοούμε με την κοινή έννοια της λέξης.

Ο προβληματισμός για την επάρκεια της κοινής γλώσσας να αποδώσει τα φαινόμενα της φύσης δεν αποτελεί προνόμιο των φυσικών. Θα κλείσω με τον τρόπο που διατύπωσε το πρόβλημα η βιολόγος Lyn Margulis (1938-), ένα από τα πιο γόνιμα μυαλά του 20ού αιώνα, προσπαθώντας να απαντήσει στο ερώτημα «Τι είναι ζωή;»

“What is life?” is a linguistic trap. To answer according to the rules of grammar, we must supply a noun, a thing. But life on Earth is more like a verb.

It is a material process, surfing over matter like a strange slow wave. It is a controlled artistic chaos, a set of chemical reactions so staggeringly complex that more than 4 billion years ago it began a sojourn that now, in human form, composes love letters and uses silicon computers to calculate the temperature of matter at the birth of the universe».

«Η ερώτηση ‘Τι είναι ζωή;’ αποτελεί μια γλωσσολογική παγίδα. Για να απα-
ντήσουμε σύμφωνα με τους κανόνες της γραμματικής, θα πρέπει να χρησιμο-
ποιήσουμε ένα ουσιαστικό. Αλλά η ζωή στον πλανήτη Γη μοιάζει περισσότερο
με ρήμα. Πρόκειται για μια διεργασία που μορφοποιεί το υλικό υπόστρωμα
όπως ένα παράξενο αργό κύμα που ταξιδεύει στην επιφάνεια της θάλασσας. Για
ένα ελεγχόμενο καλλιτεχνικό χάος, ένα εκπληκτικά πολύπλοκο σύνολο χημι-
κών αντιδράσεων που ξεκίνησε πριν από τέσσερα δισεκατομμύρια χρόνια και
σήμερα, με την ανθρώπινη έκφρασή του, συνθέτει γράμματα αγάπης και φτιά-
χνει μηχανές από πυρίτιο για να υπολογίσει τη θερμοκρασία της ύλης τη στιγμή
της γέννησης του σύμπαντος».

(Prof. Lynn Margulis, Lecture in the IASA “*Evolution and Complexity*”
series, Luxemburg, Austria, 13 September 1995).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Παραθέτω, τέλος, για όποιον ενδιαφέρεται να διαβάσει περισσότερα για την
επικούρεια σκέψη, μια επιλογή από την πενιχρή βιβλιογραφία στα νέα ελληνικά:

Χ. Αποστολίδης, *Επίκουρος-Η Αληθινή όψη του Αρχαίου Κόσμου*, Αθήνα, Εκδό-
σεις του Κήπου, 1954.

Τίτος Λουκρήτιος Κάρος, *Περί Φύσεως*, μτφρ. Κ. Θεοτόκη, Αθήνα, Νεφέλη, 1980.

Επίκουρος, *Κείμενα-Πηγές*, επιμέλεια-μετάφραση Γ. Αβραμίδης-Π. Οικονόμου,
Θεσσαλονίκη, Θύραθεν, 2000.

Διογένης Λαέρτιος, *Επίκουρος*, επιμέλεια-μετάφραση Π. Ροδάκης, Νέα Σύνορα-
Αθήνα, Α.Α. Λιβάνης, 1993.

ΣΤΡΟΓΓΥΛΟ ΤΡΑΠΕΖΙ ΜΕ ΘΕΜΑ:
Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΣΥΝΑΝΤΑ
ΤΙΣ ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΟΝ 20ό ΑΙΩΝΑ

Κείμενα των:

Αριστείδα Μπαλιτά

Διονυσίου Αναπολιάνου

Στέφανου Ροζάνη

Στάθη Ψύλλου

Εισαγωγή στρογγυλού τραπεζιού

Ευστάθιος Γκόνος

Δι/ντής Ερευνών IBEB/EIE

Mπορώ να πω ότι προσωπικά χαίρομαι ιδιαίτερος που, προϊόντος του χρόνου, αυτή η αίθουσα γεμίζει ασφυκτικά. Αυτό είναι χαρά για όλους εμάς υπό την έννοια ότι τα θέματα τα οποία συζητάμε προφανώς αγγίζουν όχι μόνο τους ειδικούς αλλά και το γενικό κοινό. Κάναμε ένα ταξίδι κατά τις τρεις προηγούμενες εκδηλώσεις στις επιλεγόμενες Θετικές Επιστήμες. Όσοι παρευρεθήκατε στις εκδηλώσεις αυτές θα ακούσατε για θέματα Χημείας και ειδικότερα για το ρόλο της συμμετρίας, για τη δυναμική των πολυπλόκων συστημάτων και τις θεωρίες του χάους, για το πώς η Βιολογία προσπαθεί να αποκωδικοποιήσει όχι μόνο το τι εστί ζωή υπό την αυστηρή βιολογική έννοια του όρου αλλά και τι προεκτάσεις έχουν τα όποια επιτεύγματα των επιλεγόμενων επιστημών ζωής. Την προηγούμενη Τρίτη ακούσαμε μια εξαιρετη διάλεξη από τον Πρόεδρο του Εθνικού Ιδρύματος Ερευνών κ. Ίωνα Σιώτη που μας ταξίδεψε από το σύμπαν στο απειροελάχιστο σωματίδιο, όπως το αντιλαμβανόμαστε στην έννοια της Φυσικής. Η σημερινή στρογγυλή τράπεζα είναι κάτι ξεχωριστό καθώς τέσσερις διακεκριμένοι επιστήμονες και συνάδελφοι θα αναπτύξουν τις απόψεις τους σχετικά με το πώς οι Θετικές Επιστήμες συναντούν τη Φιλοσοφία. Θέλω να πω εξαρχής ότι δεν υπάρχει ατζέντα, συζητήσαμε προ ολίγου με τους τέσσερις συναδέλφους ούτως ώστε στη δεκα-

πεντάλεπτη έως εικοσάλεπτη ομιλία τους να εκφράσουν τις απόψεις τους. Όπως πάντα θα γίνει εκτεταμένη συζήτηση, ερωτήσεις και σχόλια από εσάς για να υπάρχει μια δευτερολογία και να ολοκληρώσουμε αυτόν τον κύκλο. Θα τους αναφέρω πολύ περιληπτικά. Θα έχουμε αρχικά τον κ. Μπαλτά ο οποίος είναι καθηγητής στο Μετσόβιο Πολυτεχνείο, θα συνεχίσει ο κ. Αναπολιτάνος, ο οποίος είναι πρόεδρος του Τμήματος Μεθοδολογίας, Ιστορίας & Θεωρίας της Επιστήμης στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, θα συνεχίσει ο κ. Ροζάνης ο οποίος είναι καθηγητής στο Πάντειο Πανεπιστήμιο και θα ολοκληρώσει ο κ. Ψύλλος ο οποίος είναι λέκτορας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Θα καλέσω τον κ. Μπαλτά να λάβει τον λόγο.

Φιλοσοφία και επιστήμες στον 20ό αιώνα: Γόνιμες αλλά δύσκολες σχέσεις

Αριστείδης Μπαλτάς

*Καθ. Σχολής Πολ. Μπχ. & Φυσ. Επιστημών,
Τομέας Ανθρωπιστικών & Κοινωνικών
Επιστημών & Δικαίου, ΕΜΠ*

Ευχαριστώ πολύ για την πρόσκληση. Είναι πολύ δύσκολη η θέση του πρώτου ομιλητή και γι' αυτό θα προσπαθήσω απλώς να σχεδιάσω, να σκιαγραφήσω ένα κάποιο πλαίσιο για τις σχέσεις Φιλοσοφίας και Επιστήμης, και ειδικότερα όπως πιστοποιούνται στον 20ό αιώνα.

Να ξεκινήσω λέγοντας ότι οι σχέσεις Φιλοσοφίας και Επιστήμης είναι, κατά μία τουλάχιστον έννοια, σχέσεις αμφίδρομες. Η Επιστήμη προχωρά και αναπτύσσεται παρά το ότι –ή ίσως επειδή– αγκιστρώνεται ούτως ειπείν σε ορισμένες φιλοσοφικές δεσμεύσεις των επιστημόνων. Το ποιες είναι αυτές οι δεσμεύσεις και το πώς εμφανίζονται κατά τα διάφορα στάδια της εξέλιξης των επιστημών αποτελεί μεγάλο θέμα που έχει απασχολήσει διάφορους μελετητές. Θα προσπαθήσω να το προσεγγίσω εξετάζοντας συγκεκριμένα τις εν λόγω σχέσεις στον 20ό αιώνα.

Ιδού λοιπόν η αφηγηρία μας. Η Φιλοσοφία υπάρχει και λειτουργεί, έστω μόνον υπόρρητα, στο εσωτερικό της Επιστήμης και ενόσω η Επιστήμη εξελίσ-

σεται. Από την άλλη, η εξέλιξη της επιστήμης χαρακτηρίζεται σε κάποιες στιγμές της από ριζικές καινοτομίες. Ένα χαρακτηριστικό των καινοτομιών αυτών είναι ότι δεν μπορούν να χωρέσουν απευθείας και απρόσκοπτα στα πρό-δεδομένα φιλοσοφικά σχήματα, σε αυτά που είχαν μέχρι τότε κυριαρχήσει. Γι' αυτό τον λόγο άλλωστε συνιστούν ριζικές καινοτομίες και εκλαμβάνονται ως τέτοιες. Το ότι αυτά τα σχήματα είχαν κυριαρχήσει σημαίνει ακριβώς ότι οι βασικές αρχές τους είχαν αναχθεί σε κάτι το απολύτως προφανές, σε στοιχεία της τρέχουσας σοφίας που δεν μπορούσαν ουσιαστικά να επερωτηθούν απ' εαυτών. Με αυτή την έννοια, είχαν καταστεί ακριβώς υπόρρητες, συνιστώντας έτσι τους θεμελιώδεις όρους πρόσληψης και κατανόησης της επιστήμης και των επιτευγμάτων της. Έπεται ότι όταν συμβαίνουν επαναστατικές καινοτομίες στην εξέλιξη των επιστημών, η Φιλοσοφία προκαλείται. Προκαλείται να απαντήσει, να αναμορφώσει τον εαυτό της, έτσι ώστε να προσφέρει νέους όρους κατανόησης των καινοτομιών αυτών, να τις «νομιμοποιήσει» φιλοσοφικά.

Αυτό το πολύ απλό, αν όχι απλοϊκό, σχήμα μου επιτρέπει να πραγματευθώ, ομολογουμένως πολύ σχηματικά, το θέμα του τραpezιού μας, δηλαδή τις σχέσεις Φιλοσοφίας και Επιστημών κατά τον 20^ό αιώνα.

Αν ξεκινήσουμε, λοιπόν, διαβάζοντας τα κείμενα των επιστημόνων στις αρχές του 20^{ού} αιώνα, θα διαπιστώσουμε ότι το φιλοσοφικό πλαίσιο στο οποίο κινούνται είναι ουσιαστικά το καντιανό πλαίσιο. Με άλλα λόγια, η κατανόηση του κόσμου που προσφέρουν οι επιστήμες νομιμοποιείται φιλοσοφικά υπό τους όρους του καντιανού οικοδομήματος. Εξαιρετικά σχηματικά μιλώντας, οι όροι αυτοί συνίστανται αφενός στο ότι διαθέτουμε ένα είδος πρό-εμπειρικής εποπτείας, *a priori* εποπτείας κατά τον Καντ, ως προς το πώς αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο, ως προς το πώς ο κόσμος εισέρχεται, ούτως ειπείν, μέσω των αισθήσεων στον νου μας κι αφετέρου ότι διαθέτουμε ένα πρό-εμπειρικά δεδομένο σύνολο *a priori* κατηγοριών βάσει των οποίων οργανώνουμε όσα μας παρέχουν οι αισθήσεις μας. Στη βάση αυτού του πλαισίου ήταν δυνατόν να κατανοηθεί φιλοσοφικά τόσο η Φυσική, από την εποχή του Νεύτωνα μέχρι τον 20^ό αιώνα, όσο και η ανάπτυξη των Μαθηματικών τουλάχιστον μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα.

Ξεκινάω από τα μέσα του 19ου αιώνα γιατί ήδη από τότε υπάρχουν ραγδαίες και απροσδόκτες εξελίξεις στα Μαθηματικά. Αναφέρω επί τροχάδην –ενδέχεται στη συζήτηση να πούμε περισσότερα αν υπάρξει ανάγκη για διευκρινήσεις– τη γέννηση των μη ευκλείδειων Γεωμετριών, δηλαδή τη δυνατότητα να υπάρχουν γεωμετρίες που δεν μπορούν να κατανοηθούν στη βάση της *a priori* εποπτείας του χώρου, όπως ήθελε ο Καντ. Αναφέρω τη θεωρία συνόλων του Κάντορ, τις μαθηματικές ιδέες που θεμελίωσαν τον διαφορικό και ολοκληρωτικό λογισμό, δηλαδή τη μαθηματική ανάλυση, όχι μέσω της Γεωμετρίας και της εποπτείας του χώρου –όπως και πάλι θα ήθελε ο Καντ– αλλά μέσω της Αριθμητικής και υπαινίσσομαι ένα ολόκληρο σύνολο εξελίξεων που συνδέονται με τα μεγάλα ονόματα της ιστορίας των Μαθηματικών. Όλες αυτές οι εξελίξεις, τόσο στο μέρος των Μαθηματικών που σχηματικά θα ονομάζαμε Γεωμετρία όσο και στο μέρος των Μαθηματικών που σχηματικά θα ονομάζαμε Αριθμητική, δεν φαίνεται να μπορούν να χωρέσουν στις αντιλήψεις του Καντ για το είδος γνώσης που μας παρέχουν τα Μαθηματικά.

Αλλά τα πράγματα για το καντιανό πλαίσιο χειροτερεύουν. Το 1900 ο Πλανκ εισάγει την έννοια του *quantum* που ανοίγει τη θυελλώδη πορεία ανάπτυξης της Κβαντικής Μηχανικής, ενώ το 1905 ο Αϊνστάιν δημοσιεύει τη θεμελιώδη εργασία του για την ειδική Θεωρία της Σχετικότητας. Τόσο η Θεωρία της Σχετικότητας όσο και η Κβαντική Μηχανική, όπως αναπτύσσονται παράλληλα κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα, αμφισβητούν κατά τρόπο καίριους όρους κατανόησης του κόσμου και της σχέσης μας μαζί του, όπως μας τους παρέδιδε η φιλοσοφία του Καντ.

Για αυτούς ακριβώς τους λόγους η Φιλοσοφία αντιμετώπισε την πρόκληση να αναμορφώσει τον εαυτό της και να απαντήσει, γιατί είναι ίδιον της Φιλοσοφίας να μην αφήνει αναπάντητες απορίες του είδους «Πώς ήταν δυνατό να είμαστε πεπεισμένοι επί αιώνες για την αναμφισβήτητη ορθότητα της κλασικής Φυσικής και των κλασικών Μαθηματικών;», «Πώς ήταν δυνατόν να νομίζαμε ότι είχαμε νομιμοποιήσει πλήρως φιλοσοφικά αυτές τις κλασικές θεωρίες και η αντίστοιχη δεσπάζουσα φιλοσοφική προσέγγιση να αποδεικνύεται ανίκανη να νομιμοποιήσει τις νέες;» Άρα –όπου το απλό αυτό «άρα» υπονοεί μια πολύ

μεγάλη και πολύ ενδιαφέρουσα ιστορία– κατά τη διάρκεια λίγων δεκαετιών συγκροτείται ένα νέο φιλοσοφικό πρόγραμμα με στόχο τη φιλοσοφική νομιμοποίηση των νέων αυτών επιτευγμάτων των επιστημών, πρόγραμμα που ακούει στο όνομα Λογικός Θετικισμός ή Λογικός Εμπειρισμός.

Οι φιλοσοφικές αφετηρίες του προγράμματος αυτού είναι πολύ διαφορετικές από εκείνες του Καντ και συστήνονται, τουλάχιστον σε πρώτο επίπεδο, ως ικανές να ενσωματώσουν φιλοσοφικά, να καταστήσουν φιλοσοφικά νόμιμες, τις καινοτομίες τόσο στα Μαθηματικά όσο και στη Φυσική. Για το πρόγραμμα αυτό, θεμέλιο της γνώσης είναι η εμπειρία ενώ η ίδια η γνώση οργανώνεται αποκλειστικά και μόνον από τη Λογική, όπως αυτή αναπτυσσόταν τότε σε ισχυρότατο εργαλείο μέσα από το έργο κυρίως του Φρέγκε και του Ράσελ. Η νέα αυτή Λογική –για την οποία φαντάζομαι θα μας μιλήσει ο κ. Αναπολιτάνος ως ειδικός– θεωρείται ικανή να αντιμετωπίσει και να οργανώσει ολόκληρη τη γνώση, όπως μας την παρέχει η εμπειρία, ενώ αυτή η σύζευξη εμπειρίας και λογικής φαίνεται ικανή να νομιμοποιήσει φιλοσοφικά όλες τις νέες και καινοτόμες θεωρίες τόσο της Φυσικής όσο και των Μαθηματικών. Για την περίπτωση τουλάχιστον της Φυσικής (για τα Μαθηματικά θα πω δυο λόγια παρακάτω), το γιατί είχαμε δεχθεί επί αιώνες τη θεωρία του Νεύτωνα ως απολύτως ορθή εξηγείται πολύ απλά από το πρόγραμμα του Λογικού Εμπειρισμού: δεν είχαμε εμπειρία ούτε των πολύ μεγάλων ταχυτήτων (όπως μας δείχνει η Θεωρία της Σχετικότητας) ούτε των πολύ μικρών αποστάσεων (όπως μας δείχνει η Κβαντική Μηχανική). Άρα, από τη στιγμή που η εμπειρία μας διευρύνεται έτσι ώστε να έρθει σε επαφή με τις μεγάλες ταχύτητες ή να αγγίξει το πολύ μικρό, ευλόγως δημιουργούνται νέες θεωρίες που δεν τις περιμέναμε, νέες θεωρίες που εμπεριέχουν ως ειδικές περιπτώσεις τις προηγούμενες θεωρίες. Δεν χρειάζεται λοιπόν να διαγράψουμε τις παλιές θεωρίες ολοσχερώς, ως απολύτως άχρηστες. Αυτές εξακολουθούν να είναι χρήσιμες στα αυστηρώς καθορισμένα πλέον όρια ισχύος τους.

Αυτή η απλή απάντηση δείχνει τη δύναμη του προγράμματος του Λογικού Εμπειρισμού. Στην πρώτη περίοδο της αισιοδοξίας του, ο Λογικός Εμπειρισμός

φαινόταν ικανός να αποτελέσει τη νέα αδιαμφισβήτητη φιλοσοφική απάντηση σε όλες τις συναφείς απορίες. Η φιλοσοφία του Καντ φαινόταν οριστικά τελειωμένη και μαζί της ολόκληρη η «κακή» μεταφυσική που πρότεινε ιδέες σύνθετες και πολύπλοκες, δεν στηρίζονταν σε καμιά γνήσια εμπειρία κι άρα τελικά δεν είχαν νόημα.

Η κατοπινή πορεία, ωστόσο, δεν δικαίωσε αυτή την αισιοδοξία. Άλυστα εσωτερικά προβλήματα ή ασυνέπειες άρχισαν να κλονίζουν εκ βάθρων το πρόγραμμα του Λογικού Εμπειρισμού, ενώ άρχισαν να αναδύονται στο προσκήνιο άλλες αντίπαλες προσεγγίσεις που φιλοδοξούσαν να απαντήσουν με τους δικούς τους όρους στο ερώτημα της φιλοσοφικής θεμελίωσης των επιστημών χωρίς να υπόκεινται στα προβλήματα ή τις ασυνέπειες αυτές. Όμως δεν υπάρχει χρόνος να αναφερθώ εδώ αναλυτικότερα.

Τελειώνοντας, θέλω να πω μερικές λέξεις για τα Μαθηματικά, οι οποίες κατά τη γνώμη μου πιστοποιούν αυτό που ισχυρίστηκα ξεκινώντας, δηλαδή ότι οι σχέσεις μεταξύ Επιστημών και Φιλοσοφίας είναι σχέσεις διπλής κατεύθυνσης, είναι σχέσεις αμφίδρομες.

Η συναφής παρατήρηση είναι σχηματικά η εξής: οι νέες εξελίξεις στα Μαθηματικά οδηγούν στη λεγόμενη «κρίση θεμελίων». Δηλαδή εμφανίζονται παράδοξα τα οποία πρέπει πάση θυσία να διευθετηθούν, αφού η μαθηματική πρακτική –ως πρακτική αυστηρή ή, σωστότερα, ως το πρότυπο της αυστηρότητας– προφανώς δεν μπορεί να ανεχθεί την αντίφαση, τη λογική ασυνέπεια κι άρα το παράδοξο. Διαπιστώθηκε έτσι η ανάγκη και διατυπώθηκε το αίτημα για την εκ νέου θεμελίωση των Μαθηματικών. Σε αυτή τη βάση και σε ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, αναλήφθηκαν τρεις μείζονες προσπάθειες: Ο λογικισμός των Φρέγκε και Ράσελ, ο φορμαλισμός του Χίλμπερτ και ο ιντουισιονισμός του Μπράουερ.

Σε ό,τι αφορά τη σχέση Φιλοσοφίας και Επιστημών που μας απασχολεί, το εξαιρετικά ενδιαφέρον στοιχείο εδώ είναι ότι, παρά τις ριζικές διαφορές μεταξύ τους, και οι τρεις αυτές απόπειρες θεμελίωσης επικαλούνται τον Καντ, με διαφορετικό βεβαίως τρόπο η καθεμιά. Και οι τρεις θεωρούν ότι μπορούν να στη-

ρικόχουν σε κάποια στοιχεία, διαφορετικά κάθε φορά, του καντιανού οικοδομήματος προκειμένου να παράσχουν στα Μαθηματικά τα ακλόνητα θεμέλια που φαίνονταν να απαιτούσαν.

Δεν είναι βέβαιο ότι κάποια από αυτές τις προσπάθειες και τις συναφείς σχολές κατόρθωσε να επιτύχει τον στόχο της και να θεμελιώσει όντως τα Μαθηματικά σε ακλόνητα θεμέλια. Θα ισχυριζόμουν μάλλον ότι καμιά δεν το κατόρθωσε. Το ζήτημα της θεμελίωσης των Μαθηματικών εξακολουθεί να παραμένει ανοικτό, ίσως επειδή τα Μαθηματικά –παρά τα φαινόμενα και παρά τις προσδοκίες πολλών– δεν είναι δυνατόν εκ φύσεως, ούτως ειπείν, να αποκτήσουν τα απούμενα ακλόνητα θεμέλια. Ωστόσο, το γεγονός ότι τρεις προσπάθειες θεμελίωσης των Μαθηματικών ριζικά διαφορετικές μεταξύ τους αισθάνονται υποχρεωμένες να επικαλεστούν τον Καντ προκειμένου να νομιμοποιήσουν φιλοσοφικά τις αφετηρίες τους δείχνει ανάγλυφα ότι η ίδια η επιστημονική πρακτική –εν προκειμένω των Μαθηματικών, αλλά εντελώς ανάλογα πράγματα ισχύουν και για τη Φυσική– είναι υποχρεωμένη, είτε το θέλει είτε όχι, είτε το ξέρει είτε όχι, να προσφεύγει κάποιες φορές ρητά στη Φιλοσοφία ή να στηρίζεται κατά κανόνα υπόρρητα σε εκείνη.

Αυτή η απλή διαπίστωση συνεπάγεται ότι η σημερινή απαξίωση της φιλοσοφίας εκ μέρους πολλών επιστημόνων δεν οφείλεται κατά κανένα τρόπο στο ότι οι ίδιοι διαθέτουν μια δέθην καθαρή αντίληψη για το τι είναι η Επιστήμη που θεραπεύουν και ότι δεν έχουν καμιά ανάγκη να επικαλούνται τη Φιλοσοφία ή να προσφεύγουν σε εκείνη για να ξεκαθαρίσουν αυτή την αντίληψη. Σημαίνει μάλλον ότι οι ίδιοι παραμένουν εγκλωβισμένοι σε μια πολύ συγκεκριμένη φιλοσοφική αντίληψη για την επιστήμη, μια αντίληψη που συνιστά κατάλοιπο του Λογικού Εμπειρισμού, δηλαδή της φιλοσοφικής προσέγγισης που διαδέχθηκε εκείνη του Καντ και έφτασε να κυριαρχήσει με τη σειρά της στη διάρκεια του Μεσοπολέμου. Κατά τη δική μου τουλάχιστον γνώμη, είναι προφανές ότι ο Λογικός Εμπειρισμός δεν συνιστά κατά κανένα τρόπο την πεμπουσία της αντίληψής μας για τον κόσμο και για τις σχέσεις μας μαζί του. Συνιστά απλώς μία φιλοσοφική προσέγγιση ανάμεσα σε άλλες, μια προσέγγιση μάλιστα που έχει προσκρούσει σε πολλά και εν πολλοίς αζεπέραστα εσωτερικά προβλήματα. Με

άλλα λόγια, ισχυρίζομαι τελειώνοντας πως μια πληρέστερη κατανόηση της Επιστήμης και των εξελίξεών της δεν μπορεί να επέλθει αν υιοθετήσουμε τυφλά ή δογματικά τη μία ή την άλλη φιλοσοφική προσέγγιση, αλλά μόνον αν καταλάβουμε σε όλο το απαιτούμενο βάθος ότι η Επιστήμη στηρίζεται υποχρεωτικά στη Φιλοσοφία για να προχωρήσει κι ότι από τη μεριά τους οι επιστημονικές εξελίξεις προκαλούν πάντοτε αναμορφώσεις στη Φιλοσοφία, εν ολίγοις μόνον αν καταλάβουμε σε όλο το απαιτούμενο βάθος ότι οι σχέσεις μεταξύ Φιλοσοφίας και Επιστημών είναι αμοιβαία συστατικές και κατά τούτο άρρηκτες.

20ός αιώνας: Σχέσεις λογικής, φιλοσοφίας και επιστημών

Διονύσιος Αναπολιάνος

*Πρόεδρος Τμήματος Μεθοδολογίας, Ιστορίας
& Θεωρίας της Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Αθηνών*

Eυχαριστώ για την πρόσκληση να είμαι μέλος αυτού του στρογγυλού τραπέζιου. Είχα φανταστεί ότι μάλλον εγώ θα αναλάμβανα τον άχαρο ρόλο να μιλήσω για θέματα σχετικά με τη φιλοσοφία των Μαθηματικών.

Κατά κάποιον τρόπο υπήρξε μια πρώτη εισήγηση του κ. Μπαλτά προς αυτή την κατεύθυνση. Οφείλω να πω όμως εξ αρχής ότι δεν συμφωνώ με τη διαπίστωση ότι είναι καντιανές οι ρίζες των τριών βασικών φιλοσοφικών συστημάτων που σχετίζονται με τη φιλοσοφία των Μαθηματικών.

Αληθεύει ότι είναι καντιανές οι ρίζες του ιντουσιονισμού, των άλλων δύο είναι αμφίβολο. Οι ρίζες του Λογικισμού, για παράδειγμα, ανάγονται στον Λάιμπνιτς κι όχι στον Καντ. Εν πάση περιπτώσει, δεν είναι αυτό το θέμα. Εκείνο που έχει σημασία είναι να ειπωθούν ορισμένα στοιχεία σχετικά με τη Φιλοσοφία, τη Λογική και τα Μαθηματικά.

Θα μπορούσα να σας μιλήσω και για τη Φυσική ίσως, αλλά υπάρχουν εδώ αρκετοί εκπρόσωποί της. Θα ξεκινήσω λέγοντας πως το βασικό μοτίβο που χαρακτηρίζει την περιπέτεια της Λογικής και των Μαθηματικών στον 20ό αιώνα είναι το

μοτίβο της σύγκρουσης, της σύγκρισης, του παντρέματος και ίσως της αντιδιαστολής δύο βασικών εννοιών που υπάρχουν στα μαθηματικά: της έννοιας της απόδειξης και της έννοιας της αλήθειας.

Αν κάποιος θέλει να μιλήσει για τα εννοιολογικά επιτεύγματα του 20^{ου} αιώνα, θα πρέπει κατά βάση να επικεντρωθεί σ' αυτό το δίπολο. Τα Μαθηματικά εν γένει είναι μια δραστηριότητα που ανά τους αιώνες εξαντλείται στην αναζήτηση των σχέσεων μεταξύ των πόλων δύο συγκεκριμένων δίπολων.

Τα δίπολα αυτά είναι τα πεπερασμένο-άπειρο και διακριτό-συνεχές. Αυτά τα δύο δίπολα βασάνισαν και εξακολουθούν να βασανίζουν τους μαθηματικούς και τους φιλοσόφους των Μαθηματικών και ίσως συνδέονται, όπως θα δούμε, και με τα επιτεύγματα της λογικής που αφορούν τον διαχωρισμό των βασικών εννοιών της αλήθειας και της απόδειξης.

Αν ανατρέξουμε στην ιστορία θα διαπιστώσουμε ότι ο μεγάλος Λάιμπνιτς έχει μια πολύ συγκεκριμένη εικόνα και ιδέα του τι είναι αλήθεια και τι απόδειξη. Οι δύο έννοιες σχετίζονται με τρόπο ώστε το αληθές να είναι αποδείξιμο και το αποδείξιμο αληθές. Γι' αυτό όταν ο Λάιμπνιτς προσπαθεί να ταξινομήσει τις αληθείς προτάσεις στο πλαίσιο μιας γλώσσας, ουσιαστικά τις ταξινομεί σε δύο κατηγορίες: η πρώτη είναι η κατηγορία των αναλυτικών αληθών προτάσεων και η δεύτερη των ενδεχομενικών αληθών προτάσεων. Για να ορίσει αυτές τις δύο κατηγορίες θεωρεί κατ' αρχήν ότι οι αναλυτικές προτάσεις είναι οι προτάσεις που είναι αληθείς σε κάθε δυνατό κόσμο.

Στον Λάιμπνιτς υπάρχει μια θεωρία δυνατών κόσμων. Ο ορισμός αυτός είναι πολύ κοντά στον αντίστοιχο ορισμό που χρησιμοποιείται στη μαθηματική λογική, όπου οι λογικά έγκυροι τύποι είναι οι αληθείς, στη δομή κάθε γλώσσας στην οποία γράφεται η συγκεκριμένη μαθηματική θεωρία.

Περίπτωση ενδεχομενικής πρότασης είναι λόγου χάριν η πρόταση «ο αναπτήρας μου είναι κόκκινος». Το αληθές της είναι ενδεχομενικό, με την έννοια ότι εξαρτάται από την ιστορία του κόσμου στον οποίο ανήκουμε. Δηλαδή οι ενδεχομενικά αληθείς προτάσεις είναι προτάσεις οι οποίες είναι αληθείς σε κάποιους

κόσμους, ψευδείς σε κάποιους άλλους και, εν ολίγοις, η αλήθεια τους εξαρτάται από το πληροφοριακό περιεχόμενο του κόσμου στον οποίο αναφέρονται.

Έτσι, συμφύρονται οι έννοιες της απόδειξης και της αλήθειας στον Λάιμπνιτς, ο οποίος θεωρεί τις μαθηματικές αλήθειες αναλυτικές. Και αυτό γιατί καταφεύγει σε έναν δεύτερο τρόπο ορισμού σύμφωνα με τον οποίο, επειδή η απόδειξη είναι πεπερασμένη διαδικασία ως προς τον απαιτούμενο αριθμό των βημάτων, θεωρεί ότι –όπως στα Μαθηματικά– η πρόταση που αποδεικνύουμε στο τέλος αναλύεται, υπό μία έννοια, σε πεπερασμένα ως προς το πλήθος τους βήματα.

Θεωρεί ότι οι αναλυτικές προτάσεις είναι προτάσεις οι οποίες αναλύονται με πεπερασμένα ως προς το πλήθος τους βήματα σε πολύ απλές, αληθείς εκ των πραγμάτων προτάσεις. Άρα ουσιαστικά θεωρεί ότι υπ' αυτή την έννοια και οι αληθείς μαθηματικές προτάσεις θα είναι αναλυτικές προτάσεις, επειδή είναι αποδειξιμες με πεπερασμένα ως προς το πλήθος βήματα.

Στο σημείο αυτό εμπίπτει ο Καντ. Ο Καντ ουσιαστικά εισάγει τη διάκριση μεταξύ *a posteriori* και *a priori* αληθών προτάσεων ή κρίσεων. Και αντικαθιστά τον όρο «ενδοχωμενική» πρόταση με τον όρο «συνθετική» πρόταση. Έτσι, αν φτιάξουμε ένα στοιχειώδες διάγραμμα, θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχουν τέσσερις θέσεις στις οποίες ενδέχεται να υπάρχουν αληθείς προτάσεις.

Οι κατηγορίες αληθών προτάσεων που αντιστοιχούν στις τέσσερις αυτές θέσεις είναι: α) *a posteriori* συνθετικές αληθείς προτάσεις, β) *a posteriori* αναλυτικές αληθείς προτάσεις, γ) *a priori* συνθετικές αληθείς προτάσεις και δ) *a priori* αναλυτικές αληθείς προτάσεις. Οι αναλυτικές *a priori* αληθείς προτάσεις είναι αντίστοιχες με τις κατά Λάιμπνιτς αναλυτικές. Βεβαίως δεν υπάρχουν *a posteriori* αναλυτικές αληθείς προτάσεις. Δεν γίνεται οι «αναλυτικές» προτάσεις να είναι εκ των υστέρων αναγνωρίσιμες ως αληθείς γιατί είναι ανέκαθεν αληθείς. Οι *a posteriori* συνθετικές προτάσεις είναι αντίστοιχες με τις κατά Λάιμπνιτς ενδοχωμενικές. Υπολείπεται η τέταρτη εκδοχή, οι συνθετικές *a priori* αληθείς προτάσεις. Υπάρχουν συνθετικές *a priori* προτάσεις; Αν δεν υπάρχουν συνθετικές *a priori* προτάσεις, τότε η διάκριση *a priori*-*a posteriori* ουσιαστικά καταρρέει και είναι ίδια με τη γνωστή διάκριση αναλυτικότητας-ενδοχωμενικότητας.

Ο Καντ όμως ισχυρίζεται ότι τέτοιες προτάσεις υπάρχουν (για παράδειγμα οι αληθείς προτάσεις των Μαθηματικών, της Γεωμετρίας και της Αριθμητικής). Οι προτάσεις αυτές είναι συνθετικές διότι είναι αληθείς σε αυτόν τον συγκεκριμένο κόσμο. Εντούτοις, είναι δομικές προτάσεις για τον κόσμο αυτό. Αφορούν ακριβώς το πλαίσιο αναγνωρισιμότητας των εμπειρικών δεδομένων, δηλαδή η χωροχρονικότητα και οι αλήθειες της είναι αλήθειες των Μαθηματικών, διότι ο χώρος για τον Καντ είναι ευκλείδειος και ο χρόνος έχει ως προφανή μαθηματική έκφρασή του την Αριθμητική.

Βεβαίως, μετά ανακαλύπτονται οι μη ευκλείδειες Γεωμετρίες και η καντιανή εκδοχή παρουσιάζει προβλήματα. Βεβαίως μπορεί κανείς να φτιάξει ένα νεοκαντιανό σύστημα το οποίο να εντάξει μέσα σε όλη αυτή την ιστορία και να κλείσει το θέμα. Δημιουργούνται μετά απ' αυτό ζυμώσεις που κατά τον 19ο αιώνα οδηγούν σε προσπάθειες για τη δυνατότητα τυποποίησης των γλωσσών στις οποίες γράφονται τα Μαθηματικά. Ο Λάιμπνιτς ονειρευόταν τη δημιουργία μιας γλώσσας, της *characteristica universalis*, όπως την έλεγε, στο πλαίσιο της οποίας θα μπορούσαν να γραφούν τα πάντα. Το όνειρο αυτό παραμένει ανεκπλήρωτο μέχρι σήμερα.

Το ουσιώδες είναι ότι στον 19ο αιώνα σημειώνεται μια προσπάθεια να τυποποιηθούν κατ' αρχάς οι νόμοι της σκέψης, να ελεγχθούν, να μπουν σε κάποια πλαίσια ενώ συγχρόνως αναπτύσσονται διάφορες περιοχές των Μαθηματικών. Ο κ. Μπαλιός ανέφερε για παράδειγμα ότι στο πλαίσιο του 19ου αιώνα αναπτύσσονται ιδιαίτερα οι μη ευκλείδειες Γεωμετρίες, η Άλγεβρα και βέβαια λαμβάνει χώρα η αριθμητικοποίηση της ανάλυσης.

Προς το τέλος όμως αυτού του αιώνα ανακύπτει και πάλι το μεγάλο ερώτημα που βασάνιζε τον Αριστοτέλη, τον Πλάτωνα, τους μεσαιωνικούς, τον Καρτέσιο, τον Λάιμπνιτς, όλους τους διανοητές στην ιστορία του κόσμου: το πρόβλημα της ύπαρξης πραγματικού απείρου, πραγματικών άπειρων αντικειμένων.

Και βέβαια ο χώρος όπου παίρνει τεράστιες διαστάσεις αυτή η σύγκρουση είναι προφανώς αυτός των Μαθηματικών. Και βέβαια τότε είναι που μπαίνει στο παιχνίδι ο Καντόρ, ο οποίος ουσιαστικά εισάγει την έννοια του συνόλου, δηλαδή την έννοια της συλλογής ως νέου αντικειμένου. Θεωρεί ότι κάθε τέτοια συλλογή μπορεί να οριστεί με μια ιδιότητα.

Εδώ ελλοχεύουν αντινομίες, γιατί αν χρησιμοποιήσουμε μια ιδιότητα γενική για να ορίσουμε ένα σύνολο, τότε ανοίγουμε το σύστημα σε παράδοξα, όπως το παράδοξο του Ράσελ, όπου αν χρησιμοποιήσουμε την ιδιότητα ότι το X δεν ανήκει στο X , αυτομάτως έχουμε πρόβλημα. Σχηματίζουμε το σύνολο A των X εκείνων όπου το X δεν ανήκει στο X . Ρωτάμε αν το A ανήκει στο A . Αν το A ανήκει στο A , έχοντας την ιδιότητα των στοιχείων του A , το A δεν ανήκει στο A , αν το A δεν ανήκει στο A έχοντας την ιδιότητα των στοιχείων του A , το A ανήκει στο A . Σωρεία παράδοξων αντιστοίχων με αυτό του Ράσελ εμφανίζονται στο τέλος του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ού. Κατά τις εκρηκτικές και «επαναστατικές» δηλαδή περιόδους και όχι τις κανονικές περιόδους, όταν πράγματι η Φιλοσοφία συναντιέται με τα Μαθηματικά και γενικότερα με όλες τις επιστήμες.

Η περιρρέουσα δηλαδή φιλοσοφική ατμόσφαιρα είναι αυτή η οποία τροφοδοτεί με ιδέες την κοινότητα η οποία πάσχει, η οποία θέλει σώνει και καλά να επιδιορθώσει το καταστρεμμένο και που στη θέση του παλιού θέλει να βάλει κάτι καινούριο διασώζοντας, ότι μπορεί από το παλιό. Σε αυτό το πλαίσιο διαμορφώνεται η μαθηματική λογική μαζί με τις σχολές της φιλοσοφίας των Μαθηματικών, τις οποίες ανέφερε ο κ. Μπαλτάς προηγουμένως στην εισήγησή του.

Τι γίνεται τώρα στο πλαίσιο αυτής της νέας μαθηματικής λογικής στον 20ό αιώνα; Τι γίνεται με αυτό που σας υποσχέθηκα από την αρχή, την περίφημη σχέση ανάμεσα στις έννοιες της αλήθειας και της απόδειξης; Στις αρχές του αιώνα, οι μαθηματικοί δεν καταλάβαιναν τη διαφορά ανάμεσα στην έννοια της αλήθειας και την έννοια της απόδειξης. Συνέχιζαν να παίζουν και με τη μια και με την άλλη, θεωρώντας τις σχεδόν ταυτόσημες.

Πίστευαν πως αν είχαν στον νου τους ένα σύμπαν μαθηματικών αντικειμένων, τους φυσικούς αριθμούς λόγου χάρη, ήταν δυνατό να διατυπώσουν κάποιες θεμελιώδεις ιδιότητες στο πλαίσιο μιας καλά τυποποιημένης γλώσσας. Ευελπιστούσαν ότι, διατυπώνοντας αυτές τις συγκεκριμένες ιδιότητες ή αξιώματα, θα μπορούσαν να συλλάβουν άπαξ διά παντός τις αληθείς προτάσεις στο πλαίσιο των φυσικών αριθμών. Θεωρούσαν δηλαδή ότι είναι δυνατό να κατασκευάσουν ένα σύστημα αξιωμάτων, όπου οτιδήποτε είναι αποδείξιμο στο πλαίσιό του είναι αληθές και στο

πλαίσιο των φυσικών αριθμών και αντιστρόφως. Δηλαδή ό,τι είναι αληθές στο πλαίσιο των φυσικών αριθμών είναι εξίσου αποδειξιμο στο πλαίσιο των αξιωμάτων. Μια τέτοια προσπάθεια οδήγησε στη δημιουργία των αξιωμάτων του Πεάνο για τους φυσικούς αριθμούς.

Η κρίση έρχεται, όμως, μετά από λίγα χρόνια κι αφότου διατυπώνεται η θεωρία των συνόλων με την εμφάνιση των συνολοθεωρητικών παραδόξων, η οποία οδηγεί σε φαινομενικό αδιέξοδο τους μαθηματικούς και τους φιλόσοφους της εποχής. Στη συνέχεια τα πράγματα δρομολογούνται, δηλαδή καταργείται η χρήση μιας ιδιότητας για την περιγραφή ενός συνόλου και περιορίζεται η χρήση της μόνο σε ήδη υπάρχοντα σύνολα. Τροποποιείται το πλαίσιο, δημιουργούνται τρεις βασικές σχολές Φιλοσοφίας των Μαθηματικών και κάποιες άλλες κατασκευαστικής υφής. Έτσι, φτάνουμε στη δεκαετία του '30, οπότε και εμφανίζεται ο Κουρτ Γκέντελ που ουσιαστικά αλλάζει την πορεία της εξέλιξης της Λογικής των Μαθηματικών, της Φιλοσοφίας των Μαθηματικών και της Φιλοσοφίας γενικότερα.

Όποιος θέλει να μιλήσει για τις έννοιες της αλήθειας και της απόδειξης σε επίπεδο θετικών επιστημών δεν είναι δυνατό να αγνοεί τα επιτεύγματα του Γκέντελ. Το πρώτο είναι το θεώρημα της πληρότητας, που εν συντομία υποστηρίζει ότι οι αποδεικτικές διαδικασίες είναι ισοδύναμες με τις επαληθευτικές. Ισχυρίζεται δηλαδή ότι μια πρόταση σε μια θεωρία είναι αποδειξιμη, αν και μόνο αν η συγκεκριμένη πρόταση είναι αληθής σε κάθε μοντέλο της συγκεκριμένης θεωρίας.

Βεβαίως, στο δεύτερο σκέλος αυτής της ισοδυναμίας υπάρχει ο ποσοδείκτης. Αντιλαμβάνεστε ότι είναι εξαιρετικά δύσκολο να υποκαταστήσει κανείς τη μηχανική έννοια της απόδειξης με την έννοια της επαληθευσιμότητας σε πρακτικό επίπεδο, γιατί αυτό θα ισοδυναμούσε με τον έλεγχο της αλήθειας της συγκεκριμένης πρότασης σε κάθε μοντέλο της συγκεκριμένης θεωρίας και τα μοντέλα αυτά είναι άπειρα.

Επομένως, η κατάληξη σε αυτό το αποτέλεσμα έχει ελάχιστη πρακτική σημασία. Επιπλέον, αυτό είναι αρκετό για να μας καταδείξει κάτι σύνθησε: όταν ο δάσκαλος προσπαθεί να αποδείξει ότι το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου ισούται με δύο ορθές γωνίες, χαράσσει στον πίνακα ένα τρίγωνο και μετά από μία κορυφή του τριγώνου γράφει μία παράλληλη προς τη βάση του ευθείας και, χρησι-

μποιώντας τις παράλληλες ευθείες, αποδεικνύει πως το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου είναι ίσο με δύο ορθές γωνίες. Σε όλη του την αποδεικτική διαδικασία, ο καθηγητής δεν μετλήθε παρά επαληθευτικές διαδικασίες.

Γιατί; Ο πίνακας είναι ένα τυχαίο μοντέλο της ευκλείδειας Γεωμετρίας. Το τρίγωνο που χαράσσει στον πίνακα είναι τυχαίο τρίγωνο στο πλαίσιο του τυχαίου μοντέλου της ευκλείδειας Γεωμετρίας. Στην ουσία επαληθεύει ότι σε κάθε τρίγωνο ενός οποιουδήποτε μοντέλου της ευκλείδειας Γεωμετρίας ισχύει η πρόταση ότι το άθροισμα των γωνιών ενός τριγώνου είναι ίσο με δύο ορθές γωνίες.

Αυτό είναι το πρώτο σημαντικό συμπέρασμα· το δεύτερο και εντυπωσιακότερο είναι η μη πληρότητα. Εδώ ακριβώς θα φανεί καθαρά η διαφορά ανάμεσα στην έννοια της αλήθειας και της αποδειξιμότητας. Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι έχουμε μια θεωρία με αναγνωρίσιμες προτάσεις, με τις οποίες θεωρούμε ότι είναι δυνατό να περιλάβουμε όλες τις αληθείς προτάσεις στο πλαίσιο των φυσικών αριθμών. Τι κάνει λοιπόν ο Γκέντελ; Εισηγείται ότι οποιαδήποτε σχετικά πολύπλοκη θεωρία, οποιαδήποτε θεωρία που εμπεριέχει δηλαδή ένα αρκετά σημαντικό τμήμα των αξιωμάτων της κατά Πεάνο Αριθμητικής, είναι θεμελιωδώς μη-πλήρης. Άρα υπάρχει τουλάχιστον μία πρόταση στη γλώσσα της θεωρίας που ούτε αυτή ούτε η άρνησή της μπορεί να αποδειχθεί από τα αξιώματα της θεωρίας.

Το σημαντικό είναι ότι είτε η θεωρία είτε η άρνησή της επαληθεύονται στο πλαίσιο των φυσικών αριθμών. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό. Σημαίνει ότι αυτή η απλοϊκή αντίληψη είναι αβάσιμη: δεν είναι δυνατόν η έννοια της απόδειξης να χωρίσει το σύμπαν των προτάσεων που γράφονται στη γλώσσα της θεωρίας, σε καλές προτάσεις (δηλαδή αποδείξιμες από τα αξιώματα της θεωρίας) και κακές (αυτές των οποίων οι αρνήσεις είναι αποδείξιμες στο πλαίσιο της γλώσσας της θεωρίας).

Γνωρίζουμε πλέον ότι, από τον Γκέντελ και μετά, οι προτάσεις στο πλαίσιο της γλώσσας μιας σχετικά πολύπλοκης θεωρίας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τις καλές, τις κακές και τις γκρίζες. Οι γκρίζες είναι εκείνες που και αυτές και οι αρνήσεις τους δεν μπορούν να αποδειχθούν από τη θεωρία. Σε αυτή τη φάση διατυπώνεται το εξής ερώτημα: Αν έχουμε τη θεωρία και μια πρόταση και γνωρίζουμε ότι ούτε αυτή ούτε η άρνησή της αποδεικνύονται από τη θεωρία, μπορούμε να την

κάνουμε αξίωμα, να την εντάξουμε στο σύστημα; Μήπως εντάσσοντάς την στο σύστημα, το καθιστούμε πλήρες; Αραγε εξαφανίζονται οι προτάσεις που ούτε αυτές ούτε οι αρνήσεις τους είναι αποδείξιμες από τη θεωρία; Η απάντηση είναι αρνητική.

Καμία αλγοριθμικά ή αναδρομικά ελέγξιμη επέκταση της θεωρίας δεν μπορεί να μας απαλλάξει από το πρόβλημα, γιατί είναι εγγενές και σχετίζεται με τις ρωγμές που υπήρχαν ανέκαθεν στο γνωσιολογικό μας σύστημα.

Ο φιλοσοφικός στοχασμός ως κριτήριο της επιστημονικής αξίωσης

Στέφανος Ροζάνης

*Διδάσκων στο Τμήμα Επικοινωνίας, Μέσων και Πολιτισμού,
Πάντειο Πανεπιστήμιο Αθηνών*

Εγώ θα επιμείνω περισσότερο στη Φιλοσοφία. Παρόλο που το θέμα μας περιγράφεται ως «Θετικές Επιστήμες και Φιλοσοφία», θα ξεκινήσω την περιγραφή της δικής μου συμβολής στη συζήτηση αντίστροφα: «Φιλοσοφία και Θετικές Επιστήμες».

Κατά την αντίληψή μου, το πρόταγμα είναι η Φιλοσοφία. Διότι αυτό που ονομάζουμε υλικότητα αποτέλεσε και εξακολουθεί να αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες –αν όχι τη μεγαλύτερη– δυσχέρεια όλων όσοι ασχολήθηκαν και ασχολούνται με τα προβλήματα της γνωσιοθεωρίας, επιθυμώντας να εδραιώσουν μια καθολικά ισχύουσα θεωρία της γνώσης. Οι Θετικές Επιστήμες ασχολούνται αποκλειστικά με αυτή την υλικότητα. Ή καλύτερα, ασχολούνται με τη διαχείριση ενός ποσού της πραγματικότητας, της υλικής πραγματικότητας, είτε αυτό είναι ένα ελάχιστο ποσό πραγματικότητας είτε ένα μεγαλύτερο τμήμα της. Γνωρίζουμε, ωστόσο, ότι ο άνθρωπος, προκειμένου να κατανοήσει την πραγματικότητα, είναι υποχρεωμένος να κομματίζει τον κόσμο, να τέμνει την πραγματικότητα σε τμήματα υλικότητας. Όμως το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η επανασύνδεση αυτών των τμημάτων, η σύνθεσή τους κατά τρόπον ώστε να

προκύπτει μια συνολική θέαση του κόσμου, μια κοσμοαντίληψη. Αυτό είναι το έργο της Φιλοσοφίας, και επιπλέον είναι το σημείο συνάντησης της Φιλοσοφίας και των Θετικών Επιστημών.

Θα παραθέσω δύο αλληλοσυγκρουόμενες απόψεις συγχρόνων φιλοσόφων, οι οποίες έχουν άμεση σχέση με το θέμα μας. Η πρώτη ανήκει στον Gaston Bachelard. Στην εισαγωγή του βιβλίου του *Le materialisme rationnel*, ο Bachelard αποφαινεται: «Η επιστήμη δεν έχει τη φιλοσοφία που της αξίζει. Δεδομένης της υπεροχής των ιδεαλιστικών φιλοσοφιών μέσα στην παραδοσιακή κουλτούρα, δεν είναι να εκπλήσσει κανείς που η υλιστική αρχή δεν έτυχε επαρκούς προσοχής εκ μέρους των φιλοσόφων». Η δεύτερη απόφανση ανήκει στον Maurice Merleau-Ponty. Στο κείμενό του «Το μάτι και το πνεύμα», ο Ponty γράφει: «Η επιστήμη χειραγωγεί τα πράγματα και αρνείται να τα κατοικήσει. Κατασκευάζει εσωτερικά μοντέλα των πραγμάτων και μεταμορφώνει τους ενδείκτες ή τις μεταβλητές –στο μέτρο βέβαια που ο ίδιος ο ορισμός των δικών της μοντέλων της επιτρέπει κάτι τέτοιο. Έτσι, όμως, δεν αντιμετωπίζει τον πραγματικό κόσμο παρά μόνο από μακριά. Είναι –και πάντοτε υπήρξε– μια σκέψη θαυμαστά ενεργητική, επινοητική, αφελής. Μια σκέψη αποφασισμένη να χειριστεί τα όντα ως αντικείμενο εν γένει, σαν να μην έχουν δηλαδή καμιά σημασία για μας, αλλά και σαν να μην έχουν άλλο προορισμό εκτός από το να υπαχθούν στα τεχνάσματά μας».

Πώς μπορούμε να ερμηνεύσουμε αυτές τις αλληλοσυγκρουόμενες απόψεις; Ποια είναι η καταγωγική περιοχή της σύγκρουσης; Θα προσπαθήσω εδώ, έστω και σχηματικά, να προσεγγίσω το πρόβλημα.

Πιστεύω ότι το όλο πρόβλημα γεννιέται σε μια στιγμή κατά την οποία τόσο η Φιλοσοφία όσο και οι Θετικές Επιστήμες καλούνται να διαχειριστούν μια σοβαρή κρίση. Αυτή η κρίση προκύπτει ως αναστοχασμός και της Φιλοσοφίας και των Θετικών Επιστημών. Η αφετηρία του αναστοχασμού είναι η παλαιά βεβαιότητα ότι μπορούμε να κινηθούμε μέσα σε μια σαφή διάκριση ανάμεσα σε ένα γνωρίζον υποκείμενο και σε ένα γνωστικό αντικείμενο ως πλήρως διακεκριμένες οντότητες. Το γνωρίζον υποκείμενο είναι αυστηρά οριοθετημένο από τη μοναδική του ικανότητα να γνωρίζει. Το γνωστικό αντικείμενο είναι επί-

σης οριοθετημένο αυστηρά ως υλική πραγματικότητα, δηλαδή ως τμήμα ή όλον ενός κόσμου ο οποίος θεωρείται ως αντικείμενο εν γένει. Μια υλικότητα η οποία απλώς κείται εκεί, αμέτοχη των όρων και των προϋποθέσεων του γνωρίζοντος υποκειμένου.

Έτσι, το πρωτείο τίθεται απόλυτα και δραματικά, θα έλεγα, στο γνωρίζον υποκείμενο, το οποίο επωμίζεται τη διαδικασία του *cogito* ως αποκλειστική προνομία του, δεδομένου ότι αυτό καλείται να γνωρίσει από μακριά κάτι το οποίο έτσι κι αλλιώς υπάρχει, και ο μόνος του προορισμός είναι να χειραγωγείται πάντα και να υπάγεται στα τεχνάσματα και στις επινοήσεις του *cogito*. Το πρωτείο είναι σαφές και η υπεροχή αυτονόητη.

Η ρήξη, η οποία προκύπτει εξ αυτού, συγκροτεί την κρίση για την οποία μίλησα προηγουμένως. Πρόκειται για τη ρήξη μεταξύ αυτού που αφελώς ονομάζουμε θετικές επιστήμες κι αυτού το οποίο αφελώς επίσης αποκαλούμε θεωρησιακή σύλληψη του κόσμου.

Είπα στην αρχή ότι η υλικότητα ήταν πάντα μία από τις μεγαλύτερες δυσχέρειες των ανθρώπων της γνώσης. Άρα η κρίση προσανατόλισε και κατύθυθε τον αναστοχασμό προς το μέρος της υλικότητας. Τι είναι υλικό; Είναι άραγε αυτό που παραδοσιακά εννοούσαμε και το οποίο, κατά την άποψη του Bachelard, δεν έτυχε επαρκούς προσοχής από την ιδεαλιστική μας κουλτούρα; Ήταν άραγε αποκλειστικά η ιδεαλιστική μας κουλτούρα που εξαντικειμενίζε την υλικότητα και κατ' αυτόν τον τρόπο την παραγνώριζε ή την απωθούσε, ρίχνοντας όλο το βάρος στη θεωρησιακή αντίληψη;

Μέσω των ερωτημάτων αυτών διανοίγεται ένας καινούργιος δρόμος. Άρχισε πλέον να γίνεται συνείδηση το γεγονός ότι το γνωρίζον υποκείμενο δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια στιγμή του γνωστικού αντικειμένου και αντίστροφα: το γνωστικό αντικείμενο, δηλαδή η υλικότητα, δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια στιγμή του γνωρίζοντος υποκειμένου. Θα επικαλεστώ μια εκπληκτική σύμπτωση. Το 1927, ο Martin Heidegger δημοσιεύει στην *Επετηρίδα Φιλοσοφίας και Φαινομενολογικής Έρευνας* του Husserl το περίφημο έργο του *Είναι και Χρόνος*. Την ίδια ακριβώς εποχή, ο Werner Heisenberg δημοσιεύει τις εργασίες του πάνω

στην Αρχή της Απροδιοριστίας. Πρόκειται πράγματι για σύμπτωση; Το βέβαιο είναι ότι ο Heisenberg ανέτρεψε πλήρως την παραδοσιακή σύλληψη της υλικότητας με τη γνωστή απόφασή του κατά την οποία η παρατήρηση διαταράσσει το φαινόμενο, ενώ ταυτόχρονα πλησίασε τον Heidegger θεωρώντας ότι το ελάχιστο ποσό της ύλης εξαρτάται απόλυτα από τον χρόνο, κατά την έννοια που το είναι των όντων εξαρτάται από τον χρόνο. Έτσι, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το ελάχιστο σωματίο ενέχει μια χρονικότητα, είναι δηλαδή ένα χρονικό είναι. Σύμφωνα με την Αρχή της Απροδιοριστίας, όταν η απροδιοριστία της θέσης ενός ελάχιστου σωματίου τείνει προς το μηδέν, τότε η απροσδιοριστία της ορμής τείνει προς το άπειρο. Τι μπορεί να σημαίνει αυτό; Τι άλλο παρά τη βεβαίωση της φαινομενολογικής αρχής του Husserl κατά την οποία το αντικείμενο συγκροτείται κατ' αποκλειστικότητα από το θεωρητικό υποκείμενο;

Ακόμη κι αν το αντικείμενο, αποφαίνεται ο Hans Wagner, «υπάρχει πέρα για πέρα ανεξάρτητα από τον ερευνητή και την έρευνα κι έχει δική του υπόσταση, η αλήθεια ωστόσο και η γνώση του αντικειμένου δεν υπάρχει ανεξάρτητα από τον ερευνητή και την έρευνα, αυτά τα δύο είναι μάλλον ο γενεσιουργός λόγος της αλήθειας και της γνώσης του αντικειμένου». Άρα, οσάκις μιλούμε για την αλήθεια του γνωστικού αντικειμένου, οσάκις δηλαδή το γνωστικό αντικείμενο μας αποκαλύπτεται ως σημασία ή ως έννοια (και σε τούτο ακριβώς κατατείνουν οι θετικές επιστήμες ή τουλάχιστον αυτό επιχειρούν να επιτύχουν μέσω της έρευνας), το γνωρίζον υποκείμενο συμπλέκεται με το γνωστικό αντικείμενο κατά τρόπον ώστε να επεμβαίνει ευθέως και να συγκροτεί το αντικείμενο, δηλαδή να το διαμορφώνει ως σημασία και έννοια. Η πράξη αυτή του γνωρίζοντος υποκειμένου, πράξη ιδρυτική ως προς την πορεία και την εξέλιξη του γνωστικού αντικειμένου, καθορίζεται κατ' εξοχήν από την απροβλεπτικότητα του γνωρίζοντος υποκειμένου, καθώς η απροβλεπτικότητα αυτή αποτελεί μια ιδιαίτερη μορφή συνείδησης, η οποία δεν εξαρτάται ούτε μπορεί να αναχθεί στην αισθητηριακή εικόνα του αντικειμένου ή στους μηχανισμούς της αντίληψης. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι σημασίες και οι έννοιες που αποδίδονται στο αντικείμενο είναι, κατά τη διατύπωση του Ernst Cassirer, «ευφυείς επιτεύξεις των πλέον διαφοροποιημένων και αμοιβαία ανεξαρτήτων πράξεων σκέψης,

κάθε μία από τις οποίες εμπλέκει ένα είδος σημασίας του περιεχομένου, μια ιδιαίτερη κατεύθυνση της αντικειμενικής αναφοράς».

Γνωρίζουμε ότι η παρατήρηση και/ή ο πειραματισμός διόλου δεν βοηθούν τη γνώση του αντικειμένου, και η απόδειξη δεν εδραιώνει την αλήθεια του. Γνωρίζουμε επίσης ότι το αντικείμενο της επιστημονικής γνώσης «γίνεται γνωστό μονάχα με συλλογιστικά προτεινόμενες κατασκευές ή αξιωματικές υποθέσεις [...]. Για να ανακαλύψουμε, επομένως, το αντικείμενο της επιστημονικής γνώσης, πρέπει να καταφύγουμε στις θεωρητικές της παραδοχές» (F.S.C. Northrop). Κατά συνέπεια, είναι οι θεωρητικές μας παραδοχές και οι συλλογιστικές μας κατασκευές που προτείνουν τις σημασίες και συγκροτούν τις έννοιες του πραγματικού πολλαπλού μέσω των οποίων συντίθεται το γνωσιοθεωρητικό μας πεδίο, και όχι τα επιμέρους στοιχεία ενός εξαντικειμενισμένου κόσμου, ενός «δεδομένου» το οποίο μπορούμε να περιγράψουμε και εν συνεχεία να επαληθεύσουμε την περιγραφή μας μέσω του πειραματισμού και της απόδειξης. Όπως το θέτει ο A. D. Abro, «αν δεχθούμε ότι ο τίτλος του φιλοσόφου θα έπρεπε να δίδεται σε εκείνους οι οποίοι ασχολούνται ειδικά περισσότερο με το να καταστήσουν αρμονικά το όλον παρά με την έρευνα των επιμέρους γεγονότων, ή, με άλλα λόγια, περισσότερο με μια γενική θεώρησή των πραγμάτων παρά με μια περιορισμένη αντίληψή τους, οφείλουμε να συμφωνήσουμε ότι οι θεωρητικοί φυσικοί πρέπει να αποκαλούνται φιλόσοφοι». Έχω την εντύπωση ότι όλα όσα προηγήθηκαν μας οδηγούν σε ένα συμπέρασμα: Τόσο η Φιλοσοφία όσο και οι Θετικές Επιστήμες έχουν προ πολλού ξεπεράσει τα χρόνια της αθωότητάς τους. Συγκροτούν πλέον ένα καλό συγκερασμένο όλον. Σήμερα, θα ήταν αδιανόητο να εννοήσουμε μια επιστημονική άποψη χωρίς ταυτόχρονα να προϋποθέσουμε μια φιλοσοφικά παράλληλη και/ή φιλοσοφικά αντιδραστική ενόραση. Από την αρχή της συζήτησής μας ο κ. Μπαλτάς έθεσε αυτόν τον όρο.

Μετριοπάθεια και τόλμη: Πώς η επιστήμη ικνηλατεί την αλήθεια

Στάθης Ψύλλος

*Λέκτορας Φιλοσοφίας της Επιστήμης, Τμήμα Μεθοδολογίας,
Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Αθηνών*

ΤΙ ΕΙΝΑΙ Ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΡΕΑΛΙΣΜΟΣ;

Προτείνω τις ακόλουθες τρεις θέσεις ως κύριες συνιστώσες του επιστημονικού ρεαλισμού. Καθεμία από αυτές επιδιώκει να διακρίνει τον ρεαλισμό από μια συγκεκριμένη μη ρεαλιστική προσέγγιση.

Μεταφυσική θέση: Ο κόσμος έχει μια καθορισμένη και ανεξάρτητη από τον νου δομή.

Σημασιολογική θέση: Οι επιστημονικές θεωρίες πρέπει να λαμβάνονται τοις μετρητοίς. Είναι περιγραφές ενός προσδιορισμένου γνωστικού πεδίου τόσο παρατηρήσιμου όσο και μη παρατηρήσιμου, και μπορούν να λάβουν αληθοτιμές. Ως εκ τούτου, μπορούν να είναι αληθείς ή ψευδείς. Οι θεωρητικοί όροι που εμφανίζονται στις θεωρίες έχουν δυναμική γεγονοτική αναφορά. Αν λοιπόν οι επιστημονικές θεωρίες είναι αληθείς, τότε οι μη παρατηρήσιμες οντότητες τις οποίες θέτουν κατοικούν τον κόσμο.

Επιστημική θέση: Οι ώριμες και επιτυχημένες στις προβλέψεις τους επιστημονικές θεωρίες είναι καλά επικυρωμένες και προσεγγιστικώς αληθείς για τον κόσμο. Επομένως, οι οντότητες που αυτές οι θεωρίες θέτουν ή, εν πάση περιπτώ-

σει, οντότητες οι οποίες είναι παρεμφερείς με εκείνες που θέτουν, κατοικούν τον κόσμο.

Η πρώτη θέση –*μεταφυσικός ρεαλισμός*– διακρίνει τον επιστημονικό ρεαλισμό από αντιρεαλιστικές θεωρήσεις της επιστήμης, είτε πρόκειται για τις παραδοσιακές ιδεαλιστικές και φαινομεναλιστικές θεωρήσεις είτε για τις πιο σύγχρονες επαληθευσιοκρατικές θεωρήσεις του Dummett (1982) και του Putnam (1981, 1990). Οι τελευταίες, βασιζόμενες σε μια επιστημική κατανόηση της έννοιας της αλήθειας, δεν επιτρέπουν καμία απόκλιση ανάμεσα στο τι όντως υπάρχει στον κόσμο και στο τι προβάλλεται ως υπαρκτό μέσα από ένα κατάλληλο σύνολο επιστημικών πρακτικών και συνθηκών. Η πρώτη θέση υπαινίσσεται ότι αν τα μη παρατηρήσιμα φυσικά είδη που τίθενται από τις θεωρίες όντως υφίστανται, τότε υπάρχουν ανεξάρτητα από την ικανότητά μας να μπορούμε να τα γνωρίζουμε, επαληθεύουμε, αναγνωρίζουμε κ.λπ.

Η δεύτερη θέση –*σημασιολογικός ρεαλισμός*– διαφοροποιεί τον επιστημονικό ρεαλισμό από ισοτρομενταλιστικές και αναγωγιστικές θεωρήσεις. Ο ισοτρομενταλισμός θεωρεί ότι η χρηστική αξία των επιστημονικών θεωριών συλλαμβάνεται πλήρως από αυτά που οι θεωρίες λένε για τον παρατηρήσιμο κόσμο. Αυτή η θέση αντιμετωπίζει τις θεωρητικές προτάσεις ως συντακτικο-μαθηματικές κατασκευές που δεν έχουν καταστάσεις αληθείας και, ως εκ τούτου, θεωρεί ότι οι θεωρητικές προτάσεις δεν δηλώνουν τίποτα. Από την άλλη πλευρά, ο αναγωγιστικός εμπειρισμός αντιμετωπίζει τις θεωρίες ως συγκαλυμμένες περιγραφές των παρατηρήσιμων οντοτήτων και της πραγματικής (και δυναμικής) συμπεριφοράς τους. Ο αναγωγιστικός εμπειρισμός είναι συμβατός με τον ισχυρισμό ότι οι θεωρητικές υποθέσεις έχουν καταστάσεις αληθείας, και ως εκ τούτου αληθοιμές, αλλά κατανοεί τις καταστάσεις αληθείας τους αναγωγιστικά: συλλαμβάνονται εξ ολοκλήρου από ένα παρατηρησιακό λεξιλόγιο. Αντιτιθέμενος στις ανωτέρω προσεγγίσεις, ο επιστημονικός ρεαλισμός είναι μια «οντολογικά πληθωριστική» άποψη. Ίδωμένη ρεαλιστικά, μια επιστημονική θεωρία επιδέχεται μια *κυριολεκτική* ερμηνεία, δηλαδή μια ερμηνεία σύμφωνα με την οποία ο κόσμος κατοικείται (ή μπορεί να κατοικείται) από ένα πλήθος μη παρατηρήσιμων οντοτήτων και διαδικασιών.

Η τρίτη θέση –*επιστημική αισιοδοξία*– διακρίνει τον επιστημονικό ρεαλισμό από αγνωστικιστικές ή σκεπτικιστικές εκδοχές του εμπειρισμού (βλ. van Fraassen 1980). Η ουσία της είναι ότι η επιστήμη μπορεί να (και όντως) οδηγεί στην ανεύρεση της αλήθειας για τον κόσμο, τόσο όσον αφορά τις παρατηρήσιμες οντότητες όσο και όσον αφορά τις μη παρατηρήσιμες οντότητες. Είναι αναπόσπαστο τμήμα της ρεαλιστικής θέσης ότι οι ενισχυτικές-απαγωγικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες για να φτάσουν στις θεωρίες τους είναι αξιόπιστες: τείνουν, δηλαδή, να παράγουν προσεγγιστικώς αληθείς πεποιθήσεις και θεωρίες.

Ο σημασιολογικός ρεαλισμός δεν διακυβεύεται πλέον. Ο θεωρητικός λόγος θεωρείται μη αναγώγιμος και δηλωτικός (έχων περιεχόμενο) από όλες τις πλευρές που λαμβάνουν μέρος στη διαμάχη. Το ότι ο σημασιολογικός ρεαλισμός απετέλεσε αντικείμενο φιλοσοφικής συναίνεσης δεν ήταν εύκολο κατόρθωμα, καθώς προϋπέθετε δύο πολύ σημαντικά φιλοσοφικά εγχειρήματα. Κατά πρώτον, τη φιλελευθεροποίηση του εμπειρισμού και τη συνεπακόλουθη αποδοχή ότι οι θεωρίες έχουν «επιπρόσθετο περιεχόμενο», δηλαδή περιεχόμενο που δεν μπορεί να συλληφθεί πλήρως μέσω της αναγωγής τους σε παρατηρησιακές προτάσεις. Κατά δεύτερον, ένα οπλοστάσιο επιχειρημάτων που προτείνουν ότι οι θεωρητικοί όροι είναι αναπόδραστοι: είναι δηλαδή απαραίτητοι σε κάθε προσπάθεια προκειμένου να φτάσουμε σε ένα, κατά τα λεγόμενα του Carnap (1939, σ. 64), «ισχυρό και αποτελεσματικό σύστημα νόμων» και να εδραιώσουμε μια επαγωγική συστηματοποίηση των εμπειρικών νόμων.

Τούτων δοθέντων, εκείνο που πραγματικά αποτελεί το ιδιάζον γνώρισμα του επιστημονικού ρεαλισμού είναι ότι προβάλλει δύο παράλληλους ισχυρισμούς, ο ένας εκ των οποίων (για να εξετάσουμε την ορολογία του Wright 1992, σ. 1-2) είναι «μετριοπαθής», ενώ ο άλλος είναι πιο «τολμηρός».

Ο *μετριοπαθής* ισχυρισμός είναι ότι υπάρχει ένας ανεξάρτητος –και σε μεγάλο βαθμό μη παρατηρήσιμος μέσω των αισθήσεων– κόσμος, τον οποίο η επιστήμη προσπαθεί να χαρτογραφήσει.

Ο *τολμηρός* ισχυρισμός είναι ότι, παρόλο που αυτός ο κόσμος είναι ανεξάρτητος από την ανθρώπινη γνωστική δραστηριότητα, η επιστήμη μπορεί να κατορθώ-

σει να φτάσει σε μια, λίγο-πολύ, αξιόπιστη αναπαράστασή του, επιτρέποντάς μας να γνωρίσουμε την αλήθεια (ή, τουλάχιστον, κάποια αλήθεια) για αυτόν.

Για πολλούς φιλοσόφους, ο ανωτέρω είναι ένας *ab initio* αδύνατος συνδυασμός απόψεων. Πολλοί φιλόσοφοι διερωτώνται: Εάν ο κόσμος είναι ανεξάρτητος από τις δυνατότητες ή ικανότητές μας να τον ερευνήσουμε και να αναγνωρίσουμε την αλήθεια των θεωριών μας για αυτόν, τότε πώς είναι δυνατόν να μπορέσουμε να τον γνωρίσουμε; Δύο επιλογές εμφανίζονται τότε σε αυτούς που θέλουν να διασώσουν μια μορφή ρεαλισμού: είτε να θυσιάσουν τον τολμηρό ισχυρισμό είτε να θυσιάσουν τον μετριοπαθή ισχυρισμό.

ΘΥΣΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΤΟΛΜΗ

Εδώ, η αφετηρία είναι ο Popper (1982). Ο ρεαλισμός θεωρείται ως μια αξιολογική θέση σχετικά με τον στόχο της επιστήμης (αλήθεια), αφήνοντας εντελώς ανοικτό το θέμα του αν αυτός ο στόχος είναι (ή μπορεί ποτέ να είναι) επιτεύξιμος. Εξυπακούεται ότι η αλήθεια κατανοείται με έναν ρεαλιστικό τρόπο (με την έννοια της αντιστοιχίας με τον κόσμο), ώστε να μην εγκαταλειφθεί επίσης και ο μετριοπαθής ισχυρισμός. Ο Popper φημίζεται για τον ισχυρισμό του ότι αφενός δεν μπορούμε ποτέ να πούμε πως αυτός ο στόχος (η ανεύρεση της αλήθειας) έχει επιτευχθεί, αλλά αφετέρου η αλήθεια προσεγγίζεται κατά κάποιο μαγικό τρόπο μέσα από την αυξανόμενη αληθομοιότητα των διαδοχικών θεωριών. Μιλώ για έναν «μαγικό τρόπο» γιατί ακόμα και αν η θεωρία του Popper περί αληθομοιότητας του Popper ήταν επαρκής,¹ δεν υπάρχει τίποτα σ' αυτή τη θεωρία το οποίο να μπορεί να εγγυηθεί ότι υπάρχει «μια πορεία προς την αλήθεια». Ο Musgrave (1996, σ. 23) συμφωνεί ότι ο ρεαλισμός (μαζί με μια σημασιολογική θέση) είναι μια αξιολογική θέση: «η επιστήμη αποβλέπει σε αληθείς θεωρίες». Υπάρχει ένα ξεκάθαρο κίνητρο για αυτόν τον συμβιβασμό: ακόμη και αν όλες οι θεωρίες που θα διατυπώσουμε είναι ψευδείς, ο ρεαλισμός, ως αξιολογική θέση, δεν απειλείται (ό.π., σ. 21). Φυσι-

1. Τα προβλήματα αυτής της θεωρίας τα έχουν δείξει οι Miller (1974) και Tichy ([1974]).

κά, ο Musgrave δεν υποστηρίζει ότι όλες οι θεωρίες ήταν ή θα είναι κατηγορηματικά ψευδείς. Απλώς θεωρεί ότι αυτό το ζήτημα (όποια και αν είναι η έκβασή του) δεν σχετίζεται με το αν ο ρεαλισμός είναι μια σωστή στάση απέναντι στην επιστήμη.²

Υπάρχουν, ωστόσο, αναπόφευκτες φιλοσοφικές ανησυχίες σχετικά με τον αξιολογικό χαρακτηρισμό του ρεαλισμού. Κατ' αρχήν, μοιάζει μάλλον κενός. Ο ρεαλισμός καθίσταται απρόσβλητος σε κάθε σοβαρή κριτική που πηγάζει από τον εμπειρικό ισχυρισμό ότι η επιστήμη που όλοι αγαπάμε έχει χαμηλές επιδόσεις στην αναζήτηση της αλήθειας (βλ. Laudan 1984). Δεύτερον, αποβλέποντας σε έναν στόχο (αλήθεια) του οποίου η δυνατότητα επίτευξης με την επιστημονική μέθοδο παραμένει απροσδιόριστη, κάνει τον υποτιθέμενο ρυθμιστικό του ρόλο τελείως μυστηριώδη. Τέλος, χάνεται όλος ο ενθουσιασμός του ρεαλιστικού ισχυρισμού ότι η επιστήμη εμπλέκεται σε μια γνωστική δραστηριότητα που ελαχιστοποιεί την άγνοια και το λάθος.

Επομένως, μοιάζει ακαταμάχητη η σκέψη ότι αφού οι ρεαλιστές πρέπει να θυσιάσουν είτε την τόλμη είτε τη μετριοπάθεια, η μόνη τους αληθινή επιλογή είναι να θυσιάσουν τη μετριοπάθεια: αν ο κόσμος δεν είναι ουσιαστικά ανεξάρτητος από μας, τότε μπορεί να διαφυλαχθεί η δυνατότητα να τον γνωρίσουμε. Ο μετριοπαθής ισχυρισμός μπορεί εύκολα να θυσιασθεί, εάν ο ρεαλισμός συνδεθεί με μια επιστημονική έννοια της αλήθειας η οποία εγγυάται ότι η αλήθεια (και ως εκ τούτου το τι υπάρχει) δεν βρίσκεται πέρα των γνωστικών μας ορίων.

ΘΥΣΙΑΖΟΝΤΑΣ ΤΗ ΜΕΤΡΙΟΠΑΘΕΙΑ

Εδώ, η αφετηρία είναι κυρίως ο Putnam (1981). Ο ρεαλισμός θεωρείται ως μια θέση που αφορά μια επιστημονική έννοια αλήθειας, δηλαδή μια έννοια αλήθειας-

2. Είναι λίγο ειρωνικό ότι ο van Fraassen (1980, σ. 8) επίσης χαρακτηρίζει τον ρεαλισμό ως μια αξιολογική θέση μαζί με μια (μη-ποπεριανή) δοξαστική στάση, δηλαδή ότι η αποδοχή μιας θεωρίας εμπεριέχει την πεποίθηση ότι η θεωρία είναι αληθής.

ας η οποία εγγυάται ότι δεν μπορεί να υπάρξει μια απόκλιση ανάμεσα στο τι μια ιδανική επιστήμη αποφαίνεται για τον κόσμο και στο τι συμβαίνει (ή τι υπάρχει) στον κόσμο. Αυτή η επιχειρηματολογία έχει χρησιμοποιηθεί από τους Ellis (1985) και Jardine (1986). Για τον Ellis, η αλήθεια είναι «αυτό που θα έπρεπε να πιστεύαμε εάν η γνώση μας ήταν τέλεια, αν βασιζόταν στα συνολικά τεκμήρια, ήταν εσωτερικά συνεπής και θεωρητικά ολοκληρωμένη με τον καλύτερο δυνατό τρόπο» (1985, σ. 68).

Υπάρχουν πολλά προβλήματα με αυτήν την άποψη, τα οποία δεν θα επαναλάβω εδώ (βλ. Psillos [1999], σ. 253-55). Το μόνο που θα σημειώσω είναι ότι δεν είναι καθόλου φανερό αν η προτεινόμενη θεωρία αλήθειας μπορεί να αποδώσει τα αναμενόμενα. Για να χρησιμοποιήσω τα λόγια του Jardine (1986, σ. 35), η απαιτούμενη έννοια αλήθειας δεν θα έπρεπε να είναι ούτε πολύ «κοσμική» ούτε πολύ «θεολογική». Θα έπρεπε να αποφεύγει μια άβολη εξάρτηση της αλήθειας από τις ιδιοτροπίες των εξελισσόμενων επιστημικών μας αξιών, ενώ παράλληλα θα έπρεπε να συνδέει την αλήθεια με κάποια έννοια ιδανικής επιστημικής δικαιολόγησης. Αλλά στην προσπάθεια της να απομακρυνθεί από τις «κοσμικές» έννοιες αλήθειας και να κάνει την αλήθεια μια διαρκή και σταθερή ιδιότητα, η εν λόγω επιστημική θεωρία της αλήθειας προσανατολίζεται προς μια «θεολογική» έννοια: οι διαδικασίες δικαιολόγησης γίνονται τόσο ιδανικές που χάνουν όποια σκοπούμενη σύνδεση με ανθρώπινα πραγματοποιήσιμες καταστάσεις. Στο τέλος, η έννοια της αλήθειας γίνεται είτε «κοσμική», καταλήγοντας σε έναν προβληματικό σχετικισμό είτε «θεολογική» κι άρα, όχι και τόσο ριζικά διαφορετική από μια (ρεαλιστική) μη επιστημική κατανόηση της αλήθειας, σύμφωνα με την οποία η αλήθεια υπερβαίνει τη δυνατότητα της δικαιολόγησης.

Για να είμαι ακριβής, ο Putnam (1990, σ. viii) διαχώρισε τις απόψεις του περί αλήθειας από την (περσιανή, από τον Αμερικανό πραγματιστή φιλόσοφο C. S. Peirce) θεωρία ότι η αλήθεια είναι, εν τέλει, το σύνολο των πεποιθήσεων στις οποίες θα καταλήγαμε εάν ποτέ φθάναμε στο ιδανικό όριο της επιστημονικής έρευνας. Ο Putnam απορρίπτει αυτή τη θεώρηση στη βάση του ότι είναι «φανταστική (ή ουτοπική)». Αλλά, η αναλλακτική θεωρία αλήθειας που προτείνει ο Putnam, η οποία συνδέει την αλήθεια με την παρουσία «επαρκώς καλών επιστημικών κατα-

στάσεων», δεν τα πηγαίνει καλύτερα από την περσιανή θεωρία όταν έρχεται αντιμετώπιση με την ανωτέρω κοσμική/θεολογική δοκιμασία. Κάποιος μπορεί πάντα να ρωτήσει: τι άλλο, εκτός από την αλήθεια (ρεαλιστικού τύπου) μιας πρότασης μπορεί να εγγυηθεί ότι εξασφαλίζονται οι επαρκώς καλές συνθήκες δικαιολόγησης;

Αξίζει να σταθούμε για λίγο στην περίφημη αντιδιαστολή του Ευθύφρονα, όπως ονομάζεται στη σύγχρονη φιλοσοφία. Στον σχετικό Πλατωνικό διάλογο, ο Σωκράτης ζητά από τον Ευθύφρονα να τοποθετηθεί σχετικά με το ακόλουθο δίλημμα: «Εάν το ευσεβές το αγαπούν οι θεοί επειδή είναι ευσεβές, ή είναι ευσεβές επειδή το αγαπούν οι θεοί». Η αντιδιαστολή δεν είναι ιδιαίτερα θεολογική. Μπορεί να γενικευθεί σε άλλα πεδία. Αυτό που διακυβεύεται στην εν λόγω αντιδιαστολή είναι η κατεύθυνση της εξάρτησης. Οι ευσεβείς πράξεις μπορεί να είναι ακριβώς εκείνες οι πράξεις που αγαπούν οι θεοί. Και όμως ο Σωκράτης θεωρεί, δικαίως, ότι η κατεύθυνση της εξάρτησης έχει σημασία. Είναι ένα πράγμα να θεωρεί κανείς ότι κάποιες πράξεις είναι ευσεβείς επειδή τις αγαπούν οι θεοί, και φυσικά είναι άλλο πράγμα να θεωρεί κανείς ότι οι θεοί αγαπούν κάποιες πράξεις επειδή είναι αγαθές. Με άλλα λόγια, ο Σωκράτης προτείνει ότι είναι ένα ανεξάρτητο γεγονός ότι κάποιες πράξεις είναι ευσεβείς. Ειδικότερα, η ευσέβεια δεν συνίσταται στο ότι οι θεοί αγαπούν κάποιες πράξεις.

Ας θέσουμε, τώρα, την εν λόγω αντιδιαστολή στο πλαίσιο της επιστήμης και της αλήθειας. Είναι οι επιστημονικές θεωρίες αληθείς επειδή ο κόσμος έχει μια ανεξάρτητη δομή ή ο κόσμος έχει μια ανεξάρτητη δομή επειδή οι θεωρίες είναι αληθείς; Από το τι στάση θα κρατήσει κανείς απέναντι σε αυτό το δίλημμα, εξαρτάται το τι θέση παίρνει στη συζήτηση περί ρεαλισμού και αντι-ρεαλισμού και ειδικότερα το εάν δέχεται μια ρεαλιστική ή αντι-ρεαλιστική θεωρία αλήθειας. Για τον ρεαλισμό, είναι η ανεξάρτητη δομή του κόσμου που καθιστά (κάποιες από) τις θεωρίες αληθείς.

Παρ' όλα αυτά, ο Wright (1992) υποστηρίζει ότι οι επιστημονικοί ρεαλιστές θα πρέπει να υιοθετήσουν μια επιστημική αντίληψη της αλήθειας, αν όντως επιθυμούν να διατηρήσουν την επιστημική τους αισιοδοξία. Το πρόβλημα, νομίζω, με αυτή την πρόταση είναι ότι μια επαληθευσιοκρατική εκδοχή του επιστημονικού ρεαλισμού φέρει μαζί της όλα τα προβλήματα που έκαναν την επαληθευσιοκρατία ανα-

ξιόπιστη ως μια φιλοσοφική θεωρία νοήματος (και αλήθειας). Πιο συγκεκριμένα, η βιωσιμότητά της εξαρτάται από δύο προκειμένες: πρώτον, ότι ριζικός υποκαθορισμός των θεωριών από τα τεκμήρια είναι *a priori* αδύνατος· δεύτερον, ότι είναι δυνατή μια παρατηρησιακή γλώσσα, η οποία είναι θεωρητικά αφόρτιστη και χρησιμοποιείται για να εκφραστεί η κατάλληλη έννοια επαληθευσιμότητας. Όσον αφορά στην πρώτη προκειμένη, είναι φανερό ότι η ίδια η λογική δυνατότητα δύο ή περισσότερων ασύμβατων μεταξύ τους, αλλά εμπειρικά ισοδύναμων, θεωριών συνεπάγεται ότι η αλήθεια δεν βρίσκεται απαραίτητα εντός των ορίων των γνωστικών μας ικανοτήτων και πρακτικών. Όσον αφορά στη δεύτερη προκειμένη, αν η παρατήρηση είναι εμποτισμένη από τη θεωρία με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μπορούμε να ξεχωρίσουμε ένα σύνολο θεωρητικά ουδέτερων «παρατηρησιακών αναφορών», τότε δεν μπορούμε ούτε καν να διατυπώσουμε τη θέση ότι οι θεωρητικοί ισχυρισμοί είναι αληθείς, με την έννοια ότι μπορούν να επαληθευθούν (ή ακόμη ότι η αλήθεια τους μπορεί να ανιχνευθεί) μέσω των «παρατηρησιακών αναφορών».

ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΙΚΗ ΤΥΧΗ

Παρ' όλες τις προσπάθειες να επιβληθεί ένας συμβιβασμός στους επιστημονικούς ρεαλιστές, ούτε η μετριοπάθεια ούτε η τόλμη πρέπει να εγκαταλειφθούν. Από τον κεντρικό ρεαλιστικό ισχυρισμό ότι ο κόσμος είναι ανεξάρτητος από την ανθρωπινή γνωστική δραστηριότητα, δεν έπεται ούτε ότι οι επιστήμονες είναι γνωσιακά κλειστοί ως προς τον κόσμο αλλά και ούτε ότι στο βαθμό που οι επιστήμονες γνωρίζουν τον κόσμο, κατά κάποιο τρόπο, τον συγκροτούν ως αντικείμενο της έρευνάς τους. Ο Fine (1986, σ. 151) επικίρησε να αποδώσει μεγάλη βαρύτητα σε αυτή τη συνέπεια που υποτίθεται ότι έχει ο ισχυρισμός ότι ο κόσμος είναι ανεξάρτητος από τον νου. Νομίζω, όμως, ότι κάνει λάθος. Όλα εξαρτώνται από το πώς ακριβώς καταλαβαίνουμε τον ρεαλιστικό ισχυρισμό περί της ανεξαρτησίας από τον νου. Θα πρέπει να θεωρείται ότι υποστηρίζει τη *λογική-εννοιολογική ανεξαρτησία* του κόσμου, με την έννοια ότι δεν υπάρχει κανένας εννοιολογικός ή λογικός δεσμός ανάμεσα στην αλήθεια μιας πρότασης και στην ικανότητά μας να την αναγνωρίζουμε, να τη βεβαιώνουμε, να την υπερβεβαιώνουμε ή τα συναφή. Οι οντότητες που η επιστήμη μελετά και για τις οποίες ανακαλύπτει αλήθειες κρίνονται ως ανεξάρτητες

από μας (ή από τον νου εν γένει) όχι υπό μια αιτιακή έννοια, αλλά μόνο υπό μια λογική έννοια: δεν είναι το λογικό επακόλουθο (ό,τι και αν σημαίνει αυτό) των δικών μας εννοιολογήσεων και θεωρήσεων.

Όλα αυτά είναι συμβατά με τον ισχυρισμό ότι η επιστήμη και η μεθοδολογία της είναι *αιτιακά* εξαρτημένες από τον κόσμο. Πράγματι, αυτή η αιτιακή επικοινωνία με τον κόσμο προϋποτίθεται στον ισχυρισμό των ρεαλιστών ότι οι μέθοδοι διάδρασης μας με τον κόσμο μπορεί να είναι τέτοιες που, τουλάχιστον σε ευνοϊκές συνθήκες, μπορούν να μας οδηγήσουν στη διαμόρφωση δικαιολογημένων πεποιθήσεων σχετικά με τη «βαθιά δομή» του κόσμου. Παρά το πλήθος των σελίδων φιλοσοφικής επιχειρηματολογίας που έχουν γραφεί και που υποστηρίζουν ότι αυτή η επικοινωνία με τον ανεξάρτητο κόσμο είναι αδύνατη, επειδή καταλήγει να μας «βγάλει έξω από την επιδερμίδα μας» (βλ. Rorty [1991], σ. 46 κ.έ.), ή επειδή είναι «εννοιολογικά μολυσμένη» (Fine 1986, σ. 151), είναι μια απλή αλήθεια ότι το (αναπόφευκτο) εννοιολογικό πάρε-δώσε μας με τον κόσμο δεν οδηγεί απαραίτητα στη νέο-ιδεαλιστική (ή νεοκαντιανή) θέση ότι η αιτιακή δομή του κόσμου είναι μια αντανάκλαση (ή προβολή) των δικών μας αντιλήψεων και θεωριών. Η ανεξαρτησία του κόσμου δεν χρειάζεται να θυσιασθεί. Και δεν μπορεί να θυσιασθεί εκτός αν κάποιος υιοθετήσει την παράλογη άποψη ότι οι εγκόσμιες οντότητες συγκροτούνται αιτιακά ως οντότητες από τις εννοιολογικές και επιστημικές ικανότητες και πρακτικές μας.³ Σίγουρα, οι ρεαλιστές πρέπει να αναγνωρίσουν ότι η «επιστημική τους αισιοδοξία», σύμφωνα με την οποία η επιστήμη έχει επιτύχει στην ανεύρεση της αλήθειας, προϋποθέτει και επιστημική τύχη: δεν είναι *a priori* αληθές ότι η επιστήμη έχει υπάρξει επιτυχής ή ότι πρέπει να είναι επιτυχής στην ανίχνευση της αλήθειας. Αν η επιστήμη όντως επιτυγχάνει να ανιχνεύει την αλήθεια, τότε αυτό είναι ένα ριζικά ενδεχομενικό γεγονός που αφορά το πώς είναι ο κόσμος και τον τρόπο με τον οποίο η επιστημονική μέθοδος και οι θεωρίες έχουν καταφέρει να τον συλλάβουν (βλ. Boyd 1981). Επομένως, η τόλημ του ρεαλισμού είναι μια ενδεχομενική θέση που χρειάζεται (και πρέπει) να υποστηριχθεί και να εξηγηθεί με επιχειρήματα, τα

3. Για την υπεράσπιση όλων αυτών βλέπε Psillos (1999, σ. 245-46) και Niiniluoto (1999, σ. 94-95).

οποία δείχνουν ότι οι ενισχυτικές-απαγωγικές επιστημονικές μέθοδοι μπορούν να παράγουν θεωρητικές αλήθειες για τον κόσμο και να παρέχουν θεωρητική γνώση.

Εάν ούτε η μετριοπάθεια ούτε η τόλμη χρειάζεται να θυσιασθούν, δεν υφίσταται εντούτοις ακόμη το θέμα του πόσο τολμηρός πρέπει να είναι ο επιστημονικός ρεαλισμός; Νομίζω ότι θα πρέπει να αναλογιστούμε για λίγο ποιο ακριβώς είναι το φιλοσοφικό πρόβλημα εδώ. Θεωρώ ότι είναι το ακόλουθο: υπάρχει κάποιος ισχυρός λόγος για να πιστεύουμε ότι η επιστήμη δεν μπορεί να ανικνεύσει την αλήθεια; Με άλλα λόγια, υπάρχει κάποιος λόγος να πιστεύουμε ότι, αφού εκλάβουμε τις θεωρητικές αποφάνσεις των επιστημονικών θεωριών ως εκφράζουσες γνήσιες προτάσεις, δεν μπορούμε ποτέ να δικαιολογήσουμε τον ισχυρισμό μας ότι είναι αληθείς (ή τουλάχιστον ότι είναι πιο πιθανό να είναι αληθείς παρά ψευδείς), όπου η αλήθεια κατανοείται με τον ρεαλιστικό τρόπο; Υπάρχουν ορισμένα λεπτά ζητήματα εδώ, αλλά μόλις αντιληφθούμε το πρόβλημα κατά αυτόν τον τρόπο είναι φανερό ότι αυτό που ο ρεαλισμός θα πρέπει να υπονοεί με την τόλμη του δεν είναι η παράλογη σκέψη ότι εμείς οι φιλόσοφοι θα πρέπει να αποφασίσουμε ποιους επιστημονικούς ισχυρισμούς πρέπει να αποδεχθούμε. Αυτό θα πρέπει να αφήσουμε να το αποφασίσει η καλύτερή μας επιστήμη. Μάλλον η τόλμη υπονοεί ότι η θεωρητική αλήθεια μπορεί να επιτευχθεί (και να γίνει γνωστή) το ίδιο όπως και η παρατηρησιακή αλήθεια.

Ωστόσο, αυτός ο ισχυρισμός μπορεί να έχει μια ασθενή και μια πιο ισχυρή εκδοχή. Η ασθενής εκδοχή υποστηρίζεται από τον Lepplin (1997). Ο «ελάχιστος επιστημονικός ρεαλισμός» του είναι η θέση σύμφωνα με την οποία «υπάρχουν πιθανές εμπειρικές καταστάσεις που θα δικαιολογούσαν την απόδοση κάποιου μέτρου αλήθειας στις θεωρίες όχι απλά στις παρατηρησιακές συνέπειες αλλά και στις ίδιες τις θεωρίες» (ό.π., σ. 102). Όπως γνωρίζει και ο Lepplin (σ. 121), πολλοί ρεαλιστές προτιμούν μια πιο ισχυρή θέση. Αυτή η θέση είναι ότι οι ενισχυτικές-απαγωγικές επιστημονικές μέθοδοι είναι αξιόπιστες και δύνανται να προσφέρουν δικαιολόγηση στους θεωρητικούς ισχυρισμούς. Αυτή η ισχυρή εκδοχή, νομίζω, είναι το αποτέλεσμα της συνεισφοράς του Boyd στην υπεράσπιση του ρεαλισμού.⁴ Αλλά γιατί τη

4. Για μια υπεράσπιση της θέσης, βλ. Psillos (1999, Κεφ. 4).

χρηιαζόμαστε; Τη χρειαζόμαστε γιατί μια ασθενής θεώρηση δεν μπορεί να επιτρέψει εγγυημένη ή δικαιολογημένη πεποίθηση στην ύπαρξη των μη παρατηρήσιμων οντοτήτων που τίθενται από την επιστήμη (και στους ισχυρισμούς που γίνονται σχετικά με αυτές). Ο ασθενής ισχυρισμός απλά υποστηρίζει μια αντιγενονική σύνδεση ανάμεσα σε κάποιες δυνατές εμπειρικές συνθήκες και στην αλήθεια κάποιων θεωρητικών ισχυρισμών. Αυτό, όμως, δεν μπορεί να αποτελέσει το χαρακτηριστικό γνώρισμα του επιστημονικού ρεαλισμού, γιατί, νοούμενο κατάλληλα, αναγνωρίζεται καθολικά ότι αυτή η σύνδεση είναι δυνατή. Ο ασθενής ισχυρισμός όχι μόνο αποτυγχάνει να εγγυηθεί ότι αυτή η δυνατή σύνδεση μπορεί να είναι ενεργεία (μια απαραίτητη προϋπόθεση για την πεποίθηση στην αλήθεια ενός θεωρητικού ισχυρισμού), αλλά επιπλέον κάθε προσπάθεια να δοθεί μια τέτοια εγγύηση θα πρέπει να σχετίζεται με την αξιοπιστία της μεθόδου η οποία συνδέει κάποια εμπειρική κατάσταση με την αλήθεια ενός θεωρητικού ισχυρισμού. Επομένως, η υπεράσπιση της ορθολογικότητας και της αξιοπιστίας αυτών των μεθόδων δεν μπορεί να αποφευχθεί.

Για μένα, αυτό σημαίνει ότι η τολμηρή στάση του επιστημονικού ρεαλισμού θα πρέπει να είναι ισχυρή. Όμως κάποιοι ίσως διαφωνήσουν. Εδώ σίγουρα υπάρχει χώρος για περαιτέρω συζήτηση. Ένα ζήτημα που χρειάζεται να διερευνηθεί είναι το πώς καθιερωμένες επιστημολογικές θεωρίες δικαιολόγησης, αξιοπιστίας και διαμόρφωσης πεποιθήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαμάχη περί του επιστημονικού ρεαλισμού. Ίσως αποδειχθεί ότι η διαμάχη για τον επιστημονικό ρεαλισμό διενεργείται καλύτερα στο πλαίσιο ευρύτερων εξτερναλιστικών θεωριών σχετικά με τη φύση της γνώσης, τη δικαιολόγηση, κ.λπ.

ΕΠΙΣΤΗΜΙΚΗ ΑΙΣΙΟΔΟΞΙΑ

Είναι δύσκολο να μεγαλοποιήσουμε τον ρόλο που ο Sellars έπαιξε στη ρεαλιστική στροφή κατά τη δεκαετία του 1960. Η επίθεσή του στον «μύθο του δεδομένου» και η υποστήριξη από αυτόν της «επιστημονικής εικόνας», σύμφωνα με την οποία το πραγματικό είναι αυτό που οι επιτυχημένες επιστημονικές θεωρίες θέτουν, έδωσαν προτεραιότητα στις επιστημονικές θεωρίες σε σχέση με τις θεωρίες του κοινού νου. Σε αυτό το πλαίσιο, οι Smart (1963, σ. 39) και Maxwell (1962, σ.

18) προσέφεραν επιχειρήματα υπέρ του ρεαλισμού, βασιζόμενα στην εξήγηση της επιτυχίας της επιστήμης. Αν όλες αυτές οι μη παρατηρήσιμες οντότητες δεν υπάρχουν, αν οι θεωρητικοί ισχυρισμοί δεν είναι καλά επικυρωμένες και αληθείς περιγραφές ενός μη παρατηρήσιμου κόσμου, τότε δεν είναι δυνατό να εξηγήσουμε την εμπειρική επιτυχία της επιστήμης και την πρόβλεψη συσχετισμών μεταξύ των παρατηρήσιμων οντοτήτων. Ο Putnam (1975, σ. 73) μετέτρεψε αυτές τις ιδέες σε ένα διάσημο σλόγκαν: «ο ρεαλισμός είναι η μόνη φιλοσοφία επιστήμης που δεν μετατρέπει την επιτυχία της επιστήμης σε θαύμα». Από εδώ προκύπτει το κεντρικό επιχειρήμα υπέρ του ρεαλισμού. Η κεντρική σκέψη σε αυτό το επιχειρήμα είναι ότι οι ρεαλιστικοί ισχυρισμοί προσφέρουν όχι τη μοναδική αλλά την καλύτερη εξήγηση της επιτυχίας της επιστήμης. Αυτό που επισημαίνεται με το εν λόγω επιχειρήμα είναι ότι η επιτυχία των επιστημονικών θεωριών υποστηρίζει τις ακόλουθες δύο θέσεις: α) ότι οι επιστημονικές θεωρίες θα πρέπει να ερμηνεύονται ρεαλιστικά και β) ότι, έτσι ερμηνευμένες, αυτές οι θεωρίες είναι επαρκώς επικυρωμένες ακριβώς γιατί συνεπάγονται καλά επικυρωμένες προβλέψεις. Οι αρχικοί συγγραφείς του επιχειρήματος, ωστόσο, δεν έδιναν μια επιπλέον έμφαση στις καινοφανείς προβλέψεις, οι οποίες ενδεχομένως αποτελούν την καθοριστική δοκιμασία της ικανότητας των διαφόρων φιλοσοφικών θεωριών να εξηγήσουν την επιτυχία της επιστήμης. Μόνο με μια ρεαλιστική κατανόηση οι καινοφανείς προβλέψεις δεν αποτελούν έκπληξη. Αν μια θεωρία οδηγεί σε επικυρωμένες καινοφανείς προβλέψεις, τότε είναι δύσκολο να δούμε τι άλλο πέρα από την αλήθεια της θεωρίας θα μπορούσε να εξηγήσει καλύτερα την ικανότητα των θεωριών να αποτελούν, όπως είπε ο Pierre Duhem, «προφήτες για εμάς»

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Boyd, R., "Scientific Realism and Naturalistic Epistemology", στο P. D. Asquith & T. Nickles (επ.) *PSA 1980*, Vol.2, East Lansing, Philosophy of Science Association, 1981.
- Carnap, R., "Foundations of Logic and Mathematics", *International Encyclopaedia of Unified Science*, Chicago, The University of Chicago Press, 1939.
- Dummett, M., "Realism", *Synthese*, 52(1982), σσ. 55-112.

Ellis, B., "What Science Aims to Do", στο P. M. Churchland & C. A. Hooker (επ.), *Images of Science*, Chicago, The University of Chicago Press, 1985.

Fine, A., "Unnatural Attitudes: Realist and Instrumentalist Attachments to Science", *Mind*, 95(1986), σσ.149-179.

Jardine, N., *The Fortunes of Inquiry*, Oxford, Clarendon Press, 1986.

Laudan, L., *Science and Values*, Berkeley, University of California Press, 1984.

Leplin, J., *A Novel Defence of Scientific Realism*, Oxford, OUP, 1997.

Maxwell, G., "The Ontological Status of Theoretical Entities", *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 3, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962.

Miller, D., "Popper's Qualitative Theory of Verisimilitude", *British Journal for the Philosophy of Science*, 25(1974), σσ.166-177.

Popper, K., *Realism and the Aim of Science*, London, Hutchinson, 1982.

Musgrave, A., "Realism, Truth and Objectivity" στο R. S. Cohen et al. (επ.) *Realism and Anti-Realism in the Philosophy of Science*, Kluwer, 1996.

Niiniluoto, I., *Critical Scientific Realism*, Oxford, Clarendon Press, 1999.

Putnam, H., *Mathematics, Matter and Method*, Cambridge, CUP, 1975.

Putnam, H., *Reason, Truth and History*, Cambridge, CUP, 1981.

Putnam, H., *Realism with a Human Face*, Cambridge MA, Harvard UP, 1990.

Psillos, S., *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*, London, Routledge, 1999.

Rorty, R., "Is Science a Natural Kind?" στο *Philosophical Papers Vol.1*, Cambridge, CUP, 1991.

Smart, J. J. C., *Philosophy and Scientific Realism*, London, RKP, 1963.

Tichy, P., "On Popper's Definition of Verisimilitude", *British Journal for the Philosophy of Science*, 25(1974), σσ.155-160.

Van Fraassen, B. C., *The Scientific Image*, Oxford, Clarendon Press, 1980.

Wright, C., *Truth and Objectivity*, Cambridge MA, Harvard UP, 1992.

1. Σύγχρονα επιτεύγματα των Θετικών Επιστημών, ΑΘΗΝΑ 1993
2. Μοριακή βάση των ασθενειών, ΑΘΗΝΑ 1994
3. Η Θεωρία της Εξελίξεως, Αθήνα 1994
4. Αρχαιολογία της πόλεως των Αθηνών, ΑΘΗΝΑ 1994
5. Περιβάλλον και Υγεία, Αθήνα 1996
6. Νεοελληνικό Θέατρο (17ος-20ος αι.), ΑΘΗΝΑ 1996
7. Κατανόηση και αποδοχή των εφαρμογών της Βιοτεχνολογίας από το Κοινό, ΑΘΗΝΑ 1997
8. Τα βιολογικά αίτια της γήρανσης και τα προβλήματα της «Τρίτης Ηλικίας», ΑΘΗΝΑ 1998
9. Η Άλλη Πλευρά της Βιοτεχνολογίας, ΑΘΗΝΑ 1998
10. Βιοτεχνολογία και Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης, ΑΘΗΝΑ 1999
11. Οι Μεταμορφώσεις της Πελοποννήσου (4ος-15ος αι.), ΑΘΗΝΑ 2000
12. ΧΗΜΕΙΑ & ΚΟΙΝΩΝΙΑ, ΑΘΗΝΑ 2000
13. ΘΡΑΚΗ. Ιστορικές και Γεωγραφικές Προσεγγίσεις, ΑΘΗΝΑ 2000
14. ΕΥΘΑΝΑΣΙΑ. Η σημαντική του «καλού θανάτου», ΑΘΗΝΑ 2000
15. Οι Συλλογικοί Φόβοι στην Ιστορία, ΑΘΗΝΑ 2001
16. Τα Βαλκάνια στην Προϊστορία, ΑΘΗΝΑ 2001
17. ΚΥΠΡΟΣ. Σταυροδρόμι της Μεσογείου, ΑΘΗΝΑ 2001
18. Η Πρόοδος στις Βιολογικές Επιστήμες: Νέες Τεχνολογίες και οι εφαρμογές τους στην Υγεία, ΑΘΗΝΑ 2001
19. Greek Archaeology without Frontiers, ΑΘΗΝΑ 2002
20. ΧΗΜΕΙΑ & ΔΙΑΤΡΟΦΗ, ΑΘΗΝΑ 2002
21. Βίκτωρ Ουγκώ (1802-1885), ο ρομαντικός συγγραφέας, ο οραματιστής στοχαστής, ο Φιλέλληνας. 200 χρόνια από τη γέννησή του, ΑΘΗΝΑ 2002
22. Χημεία και Υγεία, η Χημεία ως εργαλείο για την ανάπτυξη νέων φαρμάκων, ΑΘΗΝΑ 2002
23. Λατρείες στην 'περιφέρεια' του αρχαίου ελληνικού κόσμου, ΑΘΗΝΑ 2002
24. Άνθρωποι στα άκρα. Ο θάνατος ως επιλογή, ΑΘΗΝΑ 2002
25. Ιστορική Διαδρομή της Νομισματικής Μονάδας στην Ελλάδα, ΑΘΗΝΑ 2002
26. Κοινωνία και Υγεία. Επίκαιρα προβλήματα υγείας και η αντιμετώπισή τους, ΑΘΗΝΑ 2003
27. Κοινωνία και Υγεία II. Επίκαιρα προβλήματα υγείας και η αντιμετώπισή τους, ΑΘΗΝΑ 2003
28. Βυζαντινό κράτος και κοινωνία, ΑΘΗΝΑ 2003
29. Η αμφισβήτηση της εξουσίας, ΑΘΗΝΑ 2003
30. Μουσικοκινητικά δρώμενα ως μέσον θεραπευτικής αγωγής, ΑΘΗΝΑ 2003
31. The Human Predicament II, (συνέκδοση με την Δελφική Εταιρεία) υπό την αιγίδα της Πολιτιστικής Ολυμπιάδας, ΑΘΗΝΑ 2003
32. Το Ταξίδι από τους αρχαίους έως τους νεότερους χρόνους, ΑΘΗΝΑ 2004

Κατά πόσον η ραγδαία ανάπτυξη των Θετικών Επιστημών που σημειώθηκε τον 20ό αιώνα έχει επηρεάσει την ευρύτερη φιλοσοφική σκέψη και τη γενικότερη αντίληψη για τη ζωή και το σύμπαν;

Στον παρόντα τόμο περιλαμβάνονται τα κείμενα του κύκλου των ομιλιών «**Φιλοσοφία και Θετικές Επιστήμες στον 20ό αιώνα**» όπου γίνεται αναφορά στις σύγχρονες θεωρίες των Θετικών Επιστημών (Κβαντική Θεωρία, Θεωρία του Χάους, Θεωρία της δομής της Ύλης, κ.ά.). Παράλληλα παρουσιάζονται τα σύγχρονα επιτεύγματα της Γενετικής αλλά και τα βιοηθικά και φιλοσοφικά διλήμματα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους. Τέλος, το βιβλίο ολοκληρώνεται με το στρογγυλό τραπέζι όπου συζητήθηκαν οι συνέπειες των επιτευγμάτων των Θετικών Επιστημών και ο συνακόλουθος σύγχρονος στοχασμός.

ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΕΡΕΥΝΩΝ (ΕΙΕ)

Λεωφ. Βασιλέως Κωνσταντίνου 48, 116 35 Αθήνα

Τηλ.: 210 72 73 700, Fax: 210 72 46 618

e-mail: eie@eie.gr, <http://www.eie.gr>

ISBN: 960-7998-23-5