

Εισαγωγή στην ελληνική έκδοση

Φανταστείτε ένα βιβλίο το οποίο: (1) περιγράφει τη μετάβαση από τη φυσική φιλοσοφία του Αριστοτέλη στη νεότερη φυσική φιλοσοφία του Γαλιλαίου και του Καρτέσιου συνεκτιμώντας τις συμβολές των Huyghens, Leibniz, κ.ά., (2) ανατέμνει τις κεντρικές έννοιες και μεθόδους της φυσικής του Νεύτωνα και παρακολουθεί τις μεταπλάσεις της κλασικής μηχανικής από τους Lagrange και Hamilton, (3) αναλύει σε βάθος την κριτική φιλοσοφία του Kant με αφετηρία τις απόψεις των Leibniz και Berkeley για τη μαθηματική φυσική αλλά και «προ-κριτικά» κείμενα του ίδιου του Kant, (4) παρουσιάζει την ανάδυση των μη ευκλείδειων γεωμετριών κατά τον 19ο αιώνα και τις οπτικές υπό τις οποίες τις αντιμετώπισαν οι Lobachevsky, Klein και Riemann, (5) ιχνηλατεί την εμφάνιση των κλασικών θεωριών πεδίων στη φυσική με επίκεντρο την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell, (6) περιγράφει τις πειραματικές ανακαλύψεις και αναδεικνύει τη συλλογιστική που οδήγησαν στη θεμελίωση της θερμοδυναμικής από τους Carnot, Joule, Helmholtz, Clausius και Kelvin, (7) διερευνά τον τρόπο με τον οποίο έννοιες τυχαιότητας και πιθανότητας εισήχθησαν στη φυσική με τη διατύπωση της κινητικής θεωρίας και της στατιστικής μηχανικής των Maxwell και Boltzmann, (8) συλλέγει ετερόκλητες φιλοσοφικές προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν κατά τον 19ο αιώνα (Whewell, Peirce, Mach, Duhem) με κριτήριο την επίδραση που είχαν στη φιλοσοφία της επιστήμης του 20ου αιώνα, (9) εκθέτει τα εννοιολογικά θεμέλια της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, αναλύοντας περίτεχνα τη δομή του χωροχρόνου Minkowski, και πραγματεύεται «παράδοξα» και φιλοσοφικές προκλήσεις που έθεσε η θεωρία αυτή («μήκος κινούμενης ράβδου», συμβατικότητα της ταυτοχρονίας, «παράδοξο των διδύμων», «κινηματικός ντετερμινισμός», σχετικιστική έννοια μάζας), (10) σκιαγραφεί την ανάδυση και τη μετεξέλιξη της γενικής θεωρίας της σχετικότητας και της σχετικιστικής κοσμολογίας

μέχρι και την επινόηση των πληθωριστικών μοντέλων, (11) εξιστορεί την ανάπτυξη της Παλαιάς Κβαντικής Θεωρίας (1900-1925) από τους Planck, Bohr, Einstein, κ.ά., (12) παρουσιάζει τη μηχανική πινάκων του Heisenberg, την κυματική μηχανική του Schrödinger, την ισοδυναμία τους κατά von Neumann και την ερμηνεία τους κατά Born, (13) αναλύει τη σύγχρονη θεμελίωση της μη σχετικιστικής κβαντικής μηχανικής με υπόβαθρο τη μαθηματική έννοια του χώρου Hilbert, (14) πραγματεύεται τις κύριες εννοιολογικές καινοτομίες της μη σχετικιστικής κβαντικής μηχανικής, τα ερμηνευτικά προβλήματα που αυτές θέτουν και μερικές από τις διακεκριμένες απόπειρες μεταφυσικής-οντολογικής ερμηνείας (σχέσεις απροσδιοριστίας του Heisenberg, επιχείρημα EPR, ανισότητες Bell και μη τοπικότητα, πρόβλημα της κβαντικής μέτρησης, ερμηνεία της Κοπεγχάγης, θεωρίες κρυμμένων μεταβλητών και ερμηνεία Bohm, κβαντική λογική, ερμηνεία των πολλών κόσμων κατά τους Everett και DeWitt), (15) περιλαμβάνει μια σύντομη αναφορά στις ιδιαιτερότητες των σχετικιστικών κβαντικών θεωριών πεδίων και (16) συζητά κριτικά μια ευρεία γκάμα θεματικών της φιλοσοφίας της επιστήμης του 20ου αιώνα (επιστήμη και κοινός νους, εικόνα της επιστήμης κατά τον λογικό θετικισμό και τον λογικό εμπειρισμό, νόμοι της φύσης και δομή των επιστημονικών θεωριών, ρήξη και συνέχεια κατά την επιστημονική αλλαγή, επιστημονική κατανόηση, σχέση θεωρίας και εμπειρίας και επικύρωση επιστημονικών υποθέσεων) αξιοποιώντας μάλιστα συγκεκριμένα παραδείγματα από τη φυσική. Και σε αυτόν τον πλούτο θεμάτων προσθέστε παρατηρήσεις που έχουν είτε ως αφετηρία είτε ως στόχευση τη φιλοσοφία των μαθηματικών, από τη διαφωνία μεταξύ Frege και Hilbert για τον χαρακτήρα της αξιωματικής μεθόδου έως την άποψη των Bourbaki για την «αρχιτεκτονική των μαθηματικών» και τις σύγχρονες δομιστικές (στρουκτουραλιστικές) απόψεις του Shapiro.

Φανταστείτε, επιπλέον, να παρελαύνουν από τις σελίδες του ίδιου βιβλίου, εκτός από ονόματα φιλοσόφων της φυσικής όπως ο Earman ή ο Teller, ονόματα φιλοσόφων όπως ο Strawson ή ο Putnam, μαζί με τα ονόματα εκείνων που συνδέονται με σταθμούς στην ιστορία της φιλοσοφίας της επιστήμης του 20ού αιώνα: Carnap, Reichenbach, Ayer, Hempel, Hanson, Kuhn, Feyerabend, Suppes, van Fraassen, κ.ά. Σε αυτά προσθέστε ονόματα ιστορικών των επιστημών όπως ο Claggett ή ο Westfall, ονόματα ειδικών της λογικής όπως ο Łukaciewicz, ο Jaśkowski ή ο Gentzen, φιλοσόφων της λογικής όπως η Haack, κ.ά.

Φανταστείτε, τώρα, η πραγμάτευση των θεμάτων που σκιαγραφή-

θηκαν παραπάνω να βασίζεται κατά κύριο λόγο σε πρωτογενείς πηγές μεταξύ των οποίων να συμπεριλαμβάνονται αποσπάσματα του αρχαίου Έλληνα φιλοσόφου Χρυσίππου, επιστολές του Αγίου Βασιλείου καθώς και κείμενα του Ιταλού μαθηματικού Saccheri (1667-1733), του Κροάτη φυσικού φιλόσοφου Boskovic (1711-1787), του Βρετανού αστρονόμου John Herschel (1792-1871), κ.ά.

Φανταστείτε, ακόμη, πως το βιβλίο περιέχει επίσης ενδιαφέρουσες πληροφορίες για την προέλευση όρων της φυσικής ή της φιλοσοφίας – πληροφορίες που θα χαρακτήριζε κανείς περισσότερο «φιλολογικές»: λόγου χάριν, πληροφορίες για τις διαφορετικές σημασίες της λέξης ‘αιτία’ και των παραγώγων της στην αρχαία ελληνική γραμματεία, όχι μόνο στον Αριστοτέλη, αλλά και στον Αισχύλο και, πριν από αυτούς, στον Πίνδαρο, τον Ηρόδοτο και τον Όμηρο. Ένα άλλο παράδειγμα θα μπορούσε να είναι η ιχνηλασία των χρήσεων της έκφρασης ‘νόμος φύσεως’ από τον πλατωνικό διάλογο *Γοργίας*, στους στωικούς φιλοσόφους και τους Πατέρες της Ελληνορθόδοξης Εκκλησίας (Μέγας Βασίλειος, Ιωάννης Χρυσόστομος, Γρηγόριος Ναζιανζηνός).

Φανταστείτε, τέλος, ότι ο συγγραφέας του βιβλίου καταβάλλει μια έντιμη, και εν πολλοίς επιτυχή, προσπάθεια να επεξηγήσει το εννοιολογικό πλαίσιο των φυσικών θεωριών, καθώς και εκείνο των μαθηματικών θεωριών που τις υποστηρίζουν, ώστε να είναι προσιτό σε αναγνώστες των οποίων το συναφές γνωσιακό υπόβαθρο δεν υπερβαίνει αυτό που προσφέρει η δευτεροβάθμια εκπαίδευση – μια προσπάθεια που περιλαμβάνει πυκνογραμμένα, αλλά πλούσια σε περιεχόμενο, παραρτήματα με στοιχεία γραμμικής άλγεβρας, συναρτησιακής ανάλυσης, τοπολογίας, κ.λπ.

Εάν η φαντασία σας δεν βοηθά να συνδυάσετε όλα τα παραπάνω σε ένα συνεκτικό αλλά και διαυγές όλον, δεν έχετε παρά να διαβάσετε το ανά χείρας βιβλίο. Το *Η Φιλοσοφία της Φυσικής* του Roberto Torretti είναι ακριβώς ένα αξιοθαύμαστο τέτοιο εγχείρημα. Παρακολουθεί την ιστορική εξέλιξη της αλληλεπίδρασης φυσικής και φιλοσοφίας από τον 17ο αιώνα μέχρι και τα τέλη του 20ου. Όπως δηλώνει ρητά ο ίδιος ο συγγραφέας στον πρόλογο, το βιβλίο εστιάζεται στη φιλοσοφία *στη* φυσική και όχι στη φιλοσοφία *περί* φυσικής. Αυτό σημαίνει ότι στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος του συγγραφέα βρίσκεται περισσότερο η φιλοσοφική σκέψη για τα φυσικά φαινόμενα που συνέχει την παράδοση της φυσικής κατά τους τελευταίους τέσσερις αιώνες παρά τα προβλήματα, οι θέσεις και τα επιχειρήματα που συναπαρτίζουν τη «φιλοσοφία της φυσικής» όπως αυτή συγκροτήθηκε ως διακριτός κλάδος της φιλοσοφίας των επιστημών κατά τον

20ο αιώνα. Κατά τούτο, η όλη προσέγγιση διαφέρει σημαντικά από εκείνη που συναντά κανείς στην πλειονότητα των σύγχρονων μελετών στην περιοχή της φιλοσοφίας της φυσικής: «εγχειριδιακού» ύφους ανάπτυξη των θεμελίων μιας δεδομένης φυσικής θεωρίας *T* και διερεύνηση της *ερμηνείας* της – δηλαδή, αναζήτηση απάντησης στο ερώτημα «Πώς θα μπορούσε να είναι ο κόσμος, ή / και η γνωσιακή μας πρόσβαση σε αυτόν, αν η θεωρία *T* είναι αληθής;»¹

Ο ίδιος ο Roberto Torretti είναι ένας διεθνώς αναγνωρισμένος φιλόσοφος με πολυετή συμβολή σε διάφορα πεδία, μεταξύ των οποίων ξεχωρίζουν η έρευνα της καντιανής γνωσιολογίας και μεταφυσικής, η μελέτη της εξέλιξης της γεωμετρίας κατά τον 19ο αιώνα (βλ. το έργο του *Philosophy of Geometry from Riemann to Poincaré*) και η διερεύνηση των θεμελίων της ειδικής και της γενικής σχετικότητας (βλ. το έργο του *Relativity and Geometry*).² Έχει συγγράψει επίσης πληθώρα άρθρων και μονογραφιών σε θέματα της φιλοσοφίας της φυσικής, γενικής φιλοσοφίας των επιστημών, φιλοσοφίας των μαθηματικών, κ.λπ., με σημαντικό μέρος του έργου να είναι γραμμένο στην ισπανική γλώσσα.

Όπως είναι αναμενόμενο και επιθυμητό, ο Roberto Torretti δεν διατάζει να διατυπώσει τις προσωπικές του θέσεις πάνω στα διάφορα φιλοσοφικά ζητήματα που πραγματεύεται. Άξια ιδιαίτερης μνείας εδώ είναι η στάση του απέναντι στον κβαντομηχανικό φορμαλισμό περιγραφής και πρόβλεψης, τον οποίο αναγνωρίζει ως «μια από τις πιο κομψές δημιουργίες του ανθρώπινου πνεύματος» (σ. 411). Ο Torretti επιχειρηματολογεί ότι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους οι συνέπειες της «ορθόδοξης» κβαντικής μηχανικής θεωρούνται μυστηριώδεις από πολυάριθμους φιλοσόφους και λίγους φυσικούς οφείλεται στην άρνησή τους να αποδεχθούν το γεγονός ότι η φύση συμπεριφέρεται με γνήσια τυχαίο τρόπο. Φαίνεται να προκρίνει την ιδέα ότι η λύση στο πρόβλημα της κβαντικής μέτρησης θα προέλθει από την επεξεργασία κάποιου σχήματος αποσυμφώνησης (*decoherence*). Το διαβόητο πρόβλημα EPR μπορεί, κατά τη γνώμη του, να απωλέσει τη βαρύτητα που του αποδίδεται μέχρι σήμερα αρκεί να αποδεχθούμε ότι οι ιδέες μας περί αιτιότητας δεν ταιριάζουν

¹ Για αυτή την προσέγγιση στη φιλοσοφία της φυσικής, βλ. Αραγεώργης, Α. (2005). «Φιλοσοφία και Σύγχρονη Φυσική». *Δευκαλίων* 23, 2: 117-148.

² Πλήρη στοιχεία παρατίθενται στις βιβλιογραφικές αναφορές στο τέλος του ανά χειράς τόμου.

στα κβαντικά φαινόμενα, παρά την αξία που έχουν για την καθημερινή ζωή. Η γενική κατεύθυνση την οποία προτείνει ο Torretti για την αντιμετώπιση των ερμηνευτικών προβλημάτων της κβαντικής μηχανικής είναι η αναζήτηση λύσεων στο *εσωτερικό* της ίδιας της θεωρίας. Έτσι δείχνει να μην έχει μεγάλη υπομονή με προσεγγίσεις που βασίζονται σε ρηξικέλευθες γνωσιολογικές ή μεταφυσικές προκειμένες. Χαρακτηριστικά ισχυρίζεται ότι η ερμηνεία των πολλών κόσμων (many-worlds interpretation) μετατρέπει την κβαντική μηχανική σε μια μη ευϋπόληπτη μεταφυσική θεωρία (σ. 443), αρνούμενος εξαρχής την ιδέα ότι ολόκληρο το σύμπαν θα μπορούσε να εκληφθεί ως ένα κβαντικό σύστημα.

Ο Roberto Torretti διατυπώνει ευθαρσώς τις απόψεις του και πάνω σε γενικότερα ζητήματα της φιλοσοφίας των επιστημών. Υπερασπίζεται μια δομιστική άποψη για τις φυσικές θεωρίες που απορρέει από τη λεγόμενη «σημασιολογική σύλληψη των θεωριών» (semantic conception of theories) ασκώντας κριτική στις απόψεις των λογικών εμπειριστών. Από την άλλη, ασκεί κριτική στις ιστορικοιστικές απόψεις περί ριζικής ασυνέχειας στην εξέλιξη της φυσικής που οδηγούν στη θέση του Kuhn περί «ασυμμετρίας» διαδοχικών επιστημονικών θεωριών (ακριβέστερα, «Παραδειγμάτων»). Και η κριτική είναι αιχμηρά διατυπωμένη: κατά τον Torretti, αυτή η θέση δημιούργησε ένα «ψευδοπρόβλημα το οποίο κατέστησε τη φιλοσοφία της επιστήμης περίγελο των ερευνητικά ενεργών φυσικών» (σ. 486). Επίσης καυστικός είναι ο τρόπος με τον οποίο ο Torretti αντιμετωπίζει τις απόπειρες οικοδόμησης μιας επαγωγικής λογικής και μιας θεωρίας επικύρωσης των επιστημονικών υποθέσεων στη βάση της θεωρίας των πιθανοτήτων (από τον Carnap ή τους οπαδούς του Μπεϊζιανισμού): πρόκειται, κατά τη γνώμη του, για «ένα από τα μεγαλύτερα αδιέξοδα στη φιλοσοφία του εικοστού αιώνα» (σ. 526).

Φυσικά, θα μπορούσε κανείς να εγείρει ενστάσεις όσον αφορά αυτές τις θέσεις. Όμως τα επιχειρήματα του Torretti είναι μεστά περιεχομένου και προσεκτικά ως προς τη λογική δομή, ενώ το ύφος είναι ευχάριστα ζωηρό. Πάντως οι σημαντικότερες αρετές του βιβλίου είναι αφενός το μεγάλο εύρος των θεματικών που καλύπτει και αφετέρου η έμφαση στην λεπτομέρεια όσον αφορά ζητήματα τόσο φυσικής όσο και φιλοσοφίας.

Η απόδοση στα ελληνικά ενός τόσο πλούσιου και πυκνού βιβλίου ήταν ένας μεταφραστικός άθλος που έφερε εις πέρας η κα Ανδρομάχη Σπανού. Όπως είναι αναμενόμενο, η μετάφραση και η επιστημονική επιμέλεια συνάντησε διάφορα προβλήματα, τα οποία αντιμετωπίσαμε από κοινού με την κα Σπανού, με την *ανεξάντλητη* κα-

τανόηση και την *πολύτιμη* αρωγή της κας Διονυσίας Δασκάλου από τις ΠΕΚ. Οι αποφάσεις που λήφθηκαν επισημαίνονται και, κατά το δυνατόν, δικαιολογούνται σε ειδικές «Σ.τ.Μ.» και «Σ.τ.Ε.». Θέλω τέλος να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρα Φιλοσοφίας κ. Γιάννη Πίσση που έκανε τον κόπο ελέγξει το τρίτο κεφάλαιο της ελληνικής μετάφρασης και να προτείνει βελτιώσεις όσον αφορά την απόδοση όρων που απαντούν στα φιλοσοφικά κείμενα του Kant. Φυσικά, ο επιμελητής είναι τελικώς υπεύθυνος για τις όποιες παραλείψεις ή άστοχες αποφάσεις.

Το *Η Φιλοσοφία της Φυσικής* του Roberto Torretti θα αποτελέσει, πιστεύω, μια σημαντική συμβολή στην ελληνόγλωσση βιβλιογραφία. Προτείνεται ανεπιφύλακτα σε κάθε αναγνώστη με ενδιαφέροντα στις περιοχές της φιλοσοφίας της φυσικής, της ιστορίας της φυσικής ή της ιστορίας της νεότερης φιλοσοφίας. Θα το εκτιμήσουν ιδιαίτερα εκείνοι οι αναγνώστες που αναγνωρίζουν ότι η ηδονή που μπορεί κανείς να αποκομίσει από ένα βιβλίο απαιτεί προσπάθεια και καλλιέργεια – ανήκει, δηλαδή, στις «ανώτερες ηδονές» όπως θα έλεγε ο John Stuart Mill.

Τέλος της φαντασίας. Αρχή της εμπειρίας ...

Αριστείδης Αραγεώργης
Απρίλης 2012

Πρόλογος

Το βιβλίο αυτό έχει σκοπό να εισαγάγει τον αναγνώστη σε μια περιοχή της νεότερης και σύγχρονης φιλοσοφίας –εν προκειμένω, τη φιλοσοφία της φυσικής– μέσω της εξερεύνησης των πηγών της από τον δέκατο έβδομο αιώνα και μετά. Ωστόσο, ενώ οι νεότερες και σύγχρονες φιλοσοφίες της τέχνης, της γλώσσας, της πολιτικής, της θρησκείας, και ούτω καθεξής στοχεύουν στη διασάφηση εκδηλώσεων της ανθρώπινης ζωής που είναι πολύ παλαιότερες και πιθανώς θα διαρκέσουν πολύ περισσότερο από τη φιλοσοφική βούληση για ενάργεια, η νεότερη και σύγχρονη φιλοσοφία της φυσικής έχει να κάνει με τη νεότερη και σύγχρονη φυσική, ένα διανοητικό εγχείρημα που ξεκίνησε κατά τον δέκατο έβδομο αιώνα ως κεντρικό τμήμα της ίδιας της φιλοσοφίας. Η θεωρία και η πρακτική της φυσικής είναι βαθειά ριζωμένες σ' αυτή την καταγωγή, παρά τις όποιες ουσιώδεις αλλαγές στο πληροφοριακό περιεχόμενό της, στο εννοιολογικό πλαίσió της, και στους ρητούς στόχους της. Μια φλέβα φιλοσοφικής σκέψης σχετικά με τα φαινόμενα της φύσης διατρέχει την ηλικίας τεσσάρων αιώνων παράδοση της φυσικής και διατηρεί τη συνοχή της τελευταίας. Αυτή η φιλοσοφία *στη* φυσική έχει περισσότερο βάρος στο βιβλίο απ' ό,τι οι στοχασμοί των φιλοσόφων *σχετικά με τη* φυσική. Συνεπώς, η μελέτη μας για την εξέλιξη της νεότερης και σύγχρονης φιλοσοφίας της φυσικής θα δώσει μεγάλη έμφαση στην εννοιολογική ανάπτυξη της ίδιας της φυσικής.

Το βιβλίο υποδιαιρείται σε επτά κεφάλαια. Το περιεχόμενο και το κίνητρο των πρώτων έξι περιγράφονται συνοπτικά στις σύντομες εισαγωγές κάθε κεφαλαίου. Το έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο –«Προοπτικές και Στοχασμοί»– δεν διαθέτει εισαγωγή, έτσι θα πω κάτι γι' αυτό εδώ. Είχα σχεδιάσει να κλείσω το βιβλίο με μια επισκόπηση της σύγχρονης διαμάχης στη φιλοσοφία της φυσικής γενικά

(πέρα από τα ειδικά φιλοσοφικά προβλήματα της σχετικότητας και της κβαντικής μηχανικής που μελετώνται στα Κεφάλαια 5 και 6). Όμως οι επιμελητές της σειράς μου ζήτησαν να δώσω αντ' αυτού τη δική μου οπτική για το αντικείμενο. Τώρα, η φαντασία μου είναι υπερβολικά ασθενής για να συμπεριλάβει μια οπτική για οτιδήποτε τόσο αχανές, και έτσι, αντ' αυτού, θα σκιαγραφήσω ό,τι θεωρώ ένα συνεκτικό τρόπο αντιμετώπισης των κύριων ζητημάτων. Πιστεύω ότι αυτή η σκιαγράφιση θα είναι πιο γόνιμη και θα συμφωνεί καλύτερα με το σύγχρονο πνεύμα της φιλοσοφίας από το στήσιμο ενός νέου ειδώλου της αγοράς που θα χρησίμευε, για την εξάσκηση της σκοπευτικής δεινότητας κάποιων.

Ένα καλοδεχούμενο γνώρισμα των σύγχρονων κοινωνιών είναι ότι οι μορφωμένοι άνθρωποι έχουν πολύ διαφορετικό εκπαιδευτικό υπόβαθρο. Ωστόσο, αυτό το γεγονός καθιστά δύσκολη την εύρεση ενός κοινού παρονομαστή αναφορικά με ό,τι θεωρείται προαπαιτούμενο για τους δυνητικούς αναγνώστες ενός βιβλίου σαν και αυτό. Υποθέτω ότι:

- (α) Οι αναγνώστες γνωρίζουν τα ονόματα σπουδαίων φιλοσόφων, όπως ο Καρτέσιος, ο Σπinoza, και ο Kant, και είναι κάπως εξοικειωμένοι με ορισμένες φιλοσοφικές ιδέες, όπως ο δυισμός νου-σώματος, αλλά, εν γένει, δεν έχουν καμία επαγγελματική εκπαίδευση στη φιλοσοφία. Συνακόλουθα έχω αποφύγει τη φιλοσοφική ιδιόλεκτο και έχω εξηγήσει όλες τις ουσιώδεις φιλοσοφικές έννοιες.
- (β) Ενδιαφέρονται για τη φυσική και θυμούνται αρκετά από όσα έμαθαν στη φυσική του λυκείου. Κάποια γνώση πανεπιστημιακής φυσικής θα διευκολύνει την κατανόηση πολλών πραγμάτων, αλλά δεν είναι απαραίτητη. Η προηγούμενη εξοικείωση με εκλαϊκευμένα ή ημι-εκλαϊκευμένα βιβλία σχετικά με τη φυσική του εικοστού αιώνα μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη.
- (γ) Απόλαυσαν τα μαθηματικά του λυκείου και θυμούνται τα κύρια σημεία τους· ή ανέπτυξαν αργότερα κάποια προτίμηση για αυτά και τα μελέτησαν εκ νέου. Σε αυτά συμπεριλαμβάνω τη στοιχειώδη ευκλείδεια γεωμετρία, την άλγεβρα του λυκείου, και τα βασικά στοιχεία του απειροστικού λογισμού. Μαθηματικά πέρα από αυτό το επίπεδο χρειάζονται μόνο στην §4.1.3 περί ριμάνειας γεωμετρίας· στις §§5.4 και 5.5 περί γενικής σχετικότητας και σχετικιστικής κοσμολογίας· και στις §§6.2, 6.3, και 6.4 περί κβαντικής μηχανικής. Τα προς τούτο απαραίτητα μαθηματικά παρέχονται στα Παραρτήματα στο τέλος του βιβλίου και σε ορισμένες

υποσημειώσεις της §4.1.3. Είναι γραμμένα στο καθιερωμένο ύφος των μαθηματικών συγγραμμάτων και πιθανώς θα είναι μη προσπελάσιμα από κάποιον που δεν έχει απολύτως καμία εξοικείωση μ' αυτή τη μορφή γλώσσας. Όπως όλες οι ιδιόλεκτοι, έτσι και αυτή μπορεί να αποκτηθεί μόνο μέσω της πρακτικής εξάσκησης, για παράδειγμα, μέσω της παρακολούθησης ενός προπτυχιακού μαθήματος σύγχρονης άλγεβρας. Οι αναγνώστες που διαπιστώνουν ότι δεν μπορούν να κατανοήσουν τα Παραρτήματα απλώς ας παραλείψουν τις ενότητες που παραθέσαμε πιο πάνω, καθώς επίσης και την §2.5.3, «Αναλυτική Μηχανική», η οποία χρησιμεύει κυρίως ως εισαγωγή στην §6.2.

- (δ) Εκτός από την §6.4.3, περί κβαντικής λογικής, δεν απαιτείται από τους αναγνώστες να γνωρίζουν οτιδήποτε περί τυπικής λογικής. Ωστόσο, οι φοιτητές φιλοσοφίας που έχουν ακούσει ένα ή δύο μαθήματα σε αυτή την περιοχή θα είναι σε θέση –όπως αναμένω– να διαβάσουν και να κατανοήσουν τα μαθηματικά παραρτήματα.

Οι αναφορές δίνονται συνήθως κατά όνομα συγγραφέα και έτος δημοσίευσης. Περισσότερα του ενός έργα δημοσιευμένα από τον ίδιο συγγραφέα την ίδια χρονιά διακρίνονται με πεζά γράμματα. Η επιλογή γραμμάτων είναι αυθαίρετη, εκτός από την περίπτωση του Einstein, στην οποία, για εργασίες που δημοσιεύθηκαν πριν από το 1920, ακολουθώ την απόδοση γραμμάτων των *Collected Papers*. Σε λιγοστές περιπτώσεις –συνήθως σε «συλλογές κειμένων» ενός συγγραφέα– όπου το έτος δημοσίευσης δεν είναι διαφωτιστικό, χρησιμοποιώ ακρωνύμια (κυρίως τα καθιερωμένα). Όλες οι κωδικοποιημένες αναφορές αποκωδικοποιούνται στον κατάλογο με τις αναφορές στο τέλος του βιβλίου.

Οι μεταφράσεις από άλλες γλώσσες είναι δικές μου εκτός και αν αναφέρεται κάτι διαφορετικό. Οι αγγλικές μεταφράσεις που συμβουλευτήκα (π.χ. του Kant) αναφέρονται στον κατάλογο με τις αναφορές.



Ευχαριστώ θερμά τους φίλους και συναδέλφους που με βοήθησαν με συμβουλές, σχόλια, προδημοσιεύσεις, ανάρτυπα, και φωτοτυπίες ενόσω πάλευα με το βιβλίο: Juan Arana, Harvey Brown, Jeremy Butterfield, Werner Diedrich, John Earman, Bruno Escoubès, Miguel Espinoza, Alfonso Gómez-Lobo, Gary Hatfield, Christian Hermansen, Bernulf Kanitscheider, David Malament, Deborah Mayo, Jesús

Mosterín, Ulises Moulines, Michel Paty, Massimo Pauri, Michael Redhead, και Dudley Shapere. Ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη χρωστώ στη συμβολή του Francisco Claro, ο οποίος ανίχνευσε ένα σοβαρό λάθος στην πρώτη εκδοχή της §6.3.2, σχετικά με το πρόβλημα της μέτρησης στην κβαντική μηχανική. Αυτό με οδήγησε να αναδιατυπώσω αυτή την ενότητα έτσι ώστε να διορθωθεί το λάθος και το όλο ζήτημα να ειπωθεί από μια καλύτερη οπτική. Φυσικά, αν στη νέα έκδοση υπάρχουν νέα λάθη, ο Δρ. Claro δεν φέρει καμία ευθύνη για αυτά.

Επίσης ευχαριστώ το Πανεπιστήμιο του Puerto Rico, όπου δίδαξα μέχρι το 1995. Μολονότι το βιβλίο γράφτηκε μετά από τη συνταξιοδότησή μου, έχει βασιστεί σε αναγνώσεις που έκανα όσο ήμουν εκεί χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη του και τον ελεύθερο χρόνο τον οποίο το Πανεπιστήμιο μου παρέχε γενναιόδωρα για την έρευνά μου.

Μια πιο σύντομη ισπανική εκδοχή της §3.4 δημοσιεύτηκε το 1996 με τίτλο “Las analogías de la experiencia de Kant y la filosofía de la física” στο *Anales de la Universidad de Chile*. Μέρη του Κεφαλαίου 7 συμπεριελήφθησαν, σε ισπανική μετάφραση, στην εργασία μου με τίτλο “Ruptura y continuidad en la historia de la física”, η οποία δημοσιεύθηκε το 1997 στο *Revista de Filosofía* (Universidad de Chile). Ευχαριστώ τους εκδότες αυτών των περιοδικών για την άδεια να χρησιμοποιήσω αυτό το υλικό στο βιβλίο μου.

Είμαι ιδιαίτερα ευγνώμων στους Alexis Ruda, Gwen Seznec, και Rebecca Obstler, των εκδόσεων Cambridge University Press, για την άμεση ανταπόκρισή τους σε όλες μου τις ερωτήσεις και απαιτήσεις ενόσω το βιβλίο γραφόταν και παραγόταν, και στην Elise Oranges για την προσεκτική και ακριβή επιμέλεια.

Όπως σε όλα όσα έχω κάνει στην ενήλικη ζωή μου, το μεγαλύτερο χρέος μου είναι προς την Carla Cordua. Με μεγάλη μου χαρά της αφιερώνω αυτό, το πιο πρόσφατο βιβλίο μου, όπως έκανα και με το πρώτο.

Santiago de Chile, 25 Δεκεμβρίου 1998

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ



Ο μετασχηματισμός της φυσικής φιλοσοφίας κατά το δέκατο έβδομο αιώνα

Η φυσική και η φιλοσοφία είναι γνωστές μέχρι σήμερα με τις ελληνικές ονομασίες των ελληνικών διανοητικών αναζητήσεων από τις οποίες προέρχονται. Ωστόσο, κατά το δέκατο έβδομο αιώνα υπέστησαν ριζικές αλλαγές οι οποίες επηρέασαν μέχρι τις μέρες μας την περαιτέρω ανάπτυξή τους και την αλληλεπίδρασή τους. Στο Κεφάλαιο Ι θα σκιαγραφήσω κάποιες από τις ιδέες και τις μεθόδους που εισήχθησαν εκείνη την εποχή από τον Γαλιλαίο, τον Καρτέσιο και ορισμένους από τους οπαδούς τους, δίνοντας έμφαση σ' εκείνες τις πτυχές που πιστεύω ότι είναι οι πιο σημαντικές για τις σύγχρονες μελέτες στη φιλοσοφία της φυσικής.

Καλό θα ήταν να έχουμε υπόψη μας τρία πράγματα πριν αρχίσουμε τη μελέτη μας.

Πρώτον, στην ελληνική παράδοση, η φυσική λογιζόταν ως μέρος της φιλοσοφίας (μαζί με τη λογική και την ηθική, σύμφωνα με μια συνήθη διαίρεσή της) ή ακόμη και ως *το όλον* της φιλοσοφίας (στην πραγματική πρακτική των «πρώτων που φιλοσόφησαν» στη Δυτική Μικρά Ασία και τη Σικελία). Η φιλοσοφία αποτέλεσε τη μεγαλειώδη ελληνική αναζήτηση της κατανόησης των πάντων, ενώ η φυσική ή «η κατανόηση της φύσης» αφορούσε, κατά τον Αριστοτέλη, «σώματα και μεγέθη και τις ιδιότητες και τις μεταβολές τους, καθώς επίσης και τις αρχές όλων αυτών των οντοτήτων» (*Περί Ουρανού*, 268^a1-4). Παρ' ότι οι θεμελιωτές της σύγχρονης φυσικής, κατά το δέκατο έβδομο αιώνα, κόμπαζαν για τις καινοτομίες που είχαν επιφέρει, ούτε καν διανοήθηκαν ποτέ να διαρρήξουν αυτή τη σύνδεση με τη φιλοσοφία. Ενώ πίστευαν ακράδαντα πως η φύση, κατά την κρατούσα αντίληψη, δεν είναι όλα όσα υπάρχουν, το ενδιαφέρον τους γι' αυτή είχε ως κίνητρο, ακριβώς όπως συνέβη και με τον Αριστοτέλη, τη φιλοσοφική

επιθυμία να κατανοήσουν. Έτσι, ο Καρτέσιος συνέκρινε τη φιλοσοφία με ένα δένδρο, ο κορμός του οποίου είναι η φυσική· ο Γαλιλαίος ζήτησε να προστεθεί ο τίτλος του Φιλοσόφου δίπλα σ' εκείνον του Μαθηματικού κατά την ανάληψη της θέσης του στην αυλή των Μεδίκων· και το αριστούργημα του Νεύτωνα είχε τίτλο *Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας*. Το επακόλουθο διαζύγιο της φυσικής από τη φιλοσοφία, με διακριτό γνωσιακό ρόλο για κάθε μία, παρ' ότι ευλόγως υπήρξε μια άμεση συνέπεια του μετασχηματισμού που υπέστησαν και οι δύο κατά το δέκατο έβδομο αιώνα, επισφραγίστηκε πολύ αργότερα, αποκτώντας την κλασική του διατύπωση και δικαιολόγηση στο έργο του Kant.

Δεύτερον, ορισμένες από τις καινούργιες ιδέες της νεότερης φυσικής εξηγούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο εκκινώντας από την αριστοτελική φυσική. Αυτό δεν συνεπάγεται ότι η αριστοτελική κοσμοθεώρηση ήταν γενικά αποδεκτή από τους Ευρωπαίους φιλοσόφους όταν ο Γαλιλαίος και ο Καρτέσιος καταχωρίστηκαν ως φιλόσοφοι. Κάθε άλλο. Το αριστοτελικό ύφος συλλογιστικής συχνά γελοιοποιήθηκε ως καθαρή φλυαρία, ενώ το υπό άνθηση κίνημα της ιταλικής φυσικής φιλοσοφίας ήταν σαφώς μη αριστοτελικό. Όμως η φυσική και η μεταφυσική του Αριστοτέλη, οι οποίες υπήρξαν η *dernier cri*¹ στην Λατινική Συνοικία του Παρισιού περί το 1260, μολονότι σύντομα επισκιάστηκαν από τις ενδημικώς χριστιανικές φιλοσοφίες του Duns Scotus και του Γουλιέλμου του Όκαμ, σημείωσαν εντυπωσιακή επάνοδο κατά το δέκατο έκτο αιώνα. Κυρίαρχες σε ευρωπαϊκά πανεπιστήμια από τη Βιττεμβέργη μέχρι τη Σαλαμάνκα, συνδύαστηκαν ανησυχητικά με τη ρωμαιοκαθολική θεολογία κατά την Σύνοδο του Τριδέντου, ενώ διδάχτηκαν στον Γαλιλαίο στο Πανεπιστήμιο της Πίζας και στον Καρτέσιο στο Ιησουϊτικό κολέγιο της πόλης La Flèche. Έτσι η φυσική και η μεταφυσική του Αριστοτέλη ήταν βαθιά εγγαραγμένες στη σκέψη των δυο στοχαστών όταν αυτοί επινοούσαν τα στοιχεία της νέας φυσικής.

Τέλος, πολλά έχουν γραφτεί σχετικά με το μεσαιωνικό υπόβαθρο του Γαλιλαίου και του Καρτέσιου, είτε προκειμένου να αποδειχθεί πως η καινοτομία των ιδεών τους έχει τονιστεί υπερβολικά –από τους ίδιους, μεταξύ άλλων– είτε για να υποστηριχθεί εκ νέου η πρωτοτυπία αυτών των ιδεών αναφορικά με αρκετά σημαντικά ζητήματα, στα οποία οι μεσαιωνικές απόψεις παραμένουν ανεπαρκείς. Αυτή η τελευταία ερευνητική προσέγγιση είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, δεδομένου ότι ρίχνει φως σε αυτό που είχε αποφασιστική σημασία για το

¹ Σ.τ.Μ.: Γαλλικά στο πρωτότυπο: «η τελευταία λέξη της μόδας».

μετασχηματισμό της φυσικής και της φιλοσοφίας (ο οποίος, σε τελική ανάλυση, δεν συντελέστηκε κατά το Μεσαίωνα). Όμως, θα πρέπει να την αποφύγω εδώ.²

1.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑ

Το πιο διακριτό χαρακτηριστικό της σύγχρονης φυσικής είναι η χρήση των μαθηματικών και του πειράματος, και μάλιστα η *συνδυασμένη* χρήση τους.

Ένα φυσικό πείραμα αναπαράγει με τεχνητό τρόπο και σε προσεκτικά ελεγχόμενες συνθήκες μια φυσική διαδικασία, ενώ την παρουσιάζει έτσι ώστε να μπορεί να παρακολουθείται η εξέλιξή της και να καταγράφεται το αποτέλεσμά της. Τυπικά, το πείραμα μπορεί να επαναληφθεί ουσιαστικά στις ίδιες συνθήκες, ή αυτές μπορούν εσκεμμένα και επιλεκτικά να τροποποιηθούν, ώστε να διαπιστωθούν κανονικότητες και συσχετισμοί. Ο πειραματισμός αναδύεται φυσιολογικά με κάποιο απλό τρόπο σε κάθε πρακτική τέχνη, είτε πρόκειται για τη μαγειρική, την κηπουρική ή τη μεταλλουργία, μια και καμία από αυτές δεν θα είχε αναπτυχθεί χωρίς τον πειραματισμό. Διαθέτουμε επίσης κάποιες ενδείξεις αρχαίου ελληνικού πειραματισμού με αμιγώς γνωσιακούς στόχους. Ωστόσο, μία από τις πιο πρώιμες μαρτυρίες που διαθέτουμε, η οποία αναφέρεται σε πειράματα ακουστικής, περιέχει ένα υποτιμητικό σχόλιο για εκείνους οι οποίοι «βασανίζουν» πράγματα προκειμένου να αποσπάσουν πληροφορίες από αυτά.³ Και μάλιστα η ίδια η ιδέα του να αναπαράξει κάποιος *τεχνητώς* μια *φυσική* διαδικασία συνιστά αντίφαση στο αριστοτελικό πλαίσιο σκέψης. Κάτι τέτοιο ίσως βοηθήσει να εξηγήσουμε γιατί η έμφα-

² Οι μεσαιωνικές θεωρίες που προηγήθηκαν εκείνων του Γαλιλαίου εμπίπτουν σε τρεις ομάδες: (i) τη στατική του Jordanus Nemorarius (δέκατος τρίτος αιώνας)· (ii) τη θεωρία της ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης που αναπτύχθηκε στο Κολέγιο Μέρτον, στην Οξφόρδη (δέκατος τέταρτος αιώνας)· και (iii) τη θεωρία της όρμησης (*impetus*) για την κίνηση των βλημάτων και την ελεύθερη πτώση. Και οι τρεις θεωρίες εξηγούνται θαυμαστά και καταγράφονται στο Claggett (1959a). Το μεσαιωνικό υπόβαθρο του Καρτέσιου είναι το αντικείμενο των διάσημων μονογραφιών του Κογρέ (1923) και του Gilson (1930).

³ Πλάτων (*Πολιτεία*, 537d). Το ρήμα ‘βασανίζουν’ που χρησιμοποιεί ο Πλάτων σημαίνει ‘υποβάλω σε έλεγχο, θέτω σε αμφισβήτηση’, αλλά συνήθως χρησιμοποιείτο για ανακρίσεις με βασανισμό. Τα πειράματα ακουστικής που είχε κατά νου ο Πλάτων είχαν να κάνουν με τον τανυσμό χορδών που υφίσταντο μεταβαλλόμενη τάση όπως ένας κρατούμενος πάνω σε τροχό.

ση που έδινε ο Αριστοτέλης στην *εμπειρία* ως μοναδική πηγή γνώσης δεν οδήγησε στην άνθιση του *πειράματος*, παρ' ότι, κατά την ύστερη Αρχαιότητα και το Μεσαίωνα, πραγματοποιούνταν περιστασιακά κάποιοι συστηματικοί πειραματισμοί (αν και συνήθως όχι στους αριστοτελικούς κύκλους).

Ο Γαλιλαίος, από την άλλη, προτείνει επανειλημμένως στα πολεμικά κείμενά του πειράματα τα οποία, όπως ισχυρίζεται, θα είναι αποφασιστικής σημασίας για κάποιο από τα υπό μελέτη ζητήματα. Ορισμένα από αυτά απλώς τα φαντάστηκε, διότι αν τα είχε πραγματοποιήσει, θα είχε αποσύρει τις προβλέψεις του· υπάρχουν όμως στοιχεία ότι στην πραγματικότητα πραγματοποίησε κάποια πολύ ενδιαφέροντα πειράματα, ενώ υπάρχουν κάποια άλλα τόσο προφανή ώστε το υπό μελέτη ζήτημα επιλύεται με την περιγραφή τους και μόνο. Ίδου ένα πείραμα που ο Γαλιλαίος ισχυρίζεται πως πραγματοποίησε. Οι Αριστοτελικοί ισχυρίζονταν ότι ένα πλοίο θα επιπλέει καλύτερα στη βαθειά, ανοιχτή θάλασσα παρά σε ένα ρηχό λιμάνι, διότι η μεγάλη ποσότητα του νερού κάτω από το πλοίο θα βοηθούσε στην ευκολότερη επίπλευση. Ο Γαλιλαίος, ο οποίος απέρριψε περιφρονητικά την αριστοτελική έννοια της ελαφρότητας ως θετικής ποιότητας, αντίθετης σε εκείνη της βαρύτητας,⁴ απέρριψε αυτόν τον ισχυρισμό, αλλά διαπίστωσε πως δεν ήταν εύκολο να τον ανατρέψει μέσω της άμεσης παρατήρησης, εξαιτίας της μεταβαλλόμενης, συχνά τρικυμιώδους, ανοιχτής θάλασσας. Έτσι πρότεινε το εξής: Τοποθετήστε ένα δοχείο που επιπλέει σε μια ρηχή δεξαμενή νερού και φορτώστε το με τόσα μολυβένια σκάγια ώστε αν του προσθέσετε άλλο ένα να βυθι-

⁴ Σ.τ.Ε. Στο αγγλικό πρωτότυπο απαντούν δύο όροι που αποδίδονται στα ελληνικά με τον όρο 'βαρύτητα': ο όρος 'heaviness' και ο όρος 'gravity'. Ο πρώτος χρησιμοποιείται κυρίως στο πλαίσιο της αριστοτελικής φυσικής (όπως εδώ) για να υποδηλώσει την *εγγενή* ποιότητα που μπορεί να έχει ένα σώμα (ανάλογα με τη σύστασή του) και που πραγματώνεται ως φυσική προδιάθεση του σώματος να κινηθεί προς το κέντρο του σύμπαντος. Ο δεύτερος χρησιμοποιείται κυρίως στο πλαίσιο της νεωτέρων φυσικής για να υποδηλώσει την αμοιβαία έλξη μεταξύ δύο οποιωνδήποτε σωμάτων μη μηδενικής μάζας. Φυσικά ο ίδιος όρος, 'gravity', απαντά επίσης στο πλαίσιο της γενικής σχετικότητας για να υποδηλώσει την καμπυλότητα του χωροχρόνου, όπως αυτή τροποποιείται από την κατανομή ύλης και ενέργειας, ή τα αποτελέσματά της. Επίσης, το *μέτρο* του «αριστοτελικού βάρους» ενός σώματος κοντά στην επιφάνεια της γης συνδέθηκε με το *μέτρο* της νευτώνειας έλξης που δέχεται το σώμα με κατεύθυνση το κέντρο της γης στα πρώτα στάδια του επιχειρήματος του Νεύτωνα για την παγκόσμια έλξη (βλ. §§ 2.3, 2.4). Ο Έλληνας αναγνώστης πρέπει να συνηθίσει να είναι προσεκτικός σε αυτές τις αλλαγές σημασίας και τις διασυνδέσεις τους με το πλαίσιο των συμφραζομένων.

στεί. Στη συνέχεια μεταφέρετε το φορτωμένο δοχείο σε μία άλλη δεξιαμενή, «εκατό φορές μεγαλύτερη», και δοκιμάστε πόσα περισσότερα σκάγια θα πρέπει να προστεθούν μέχρι να βουλιάξει το δοχείο.⁵ Αν, όπως μαντεύουμε εύκολα, η διαφορά είναι ίση με 0, τότε οι Αριστοτελικοί διαψεύδονται σε αυτό το σημείο.

Στρέφοντας τώρα την προσοχή μας στα μαθηματικά, πρέπει να τονίσω πως τόσο ο στόχος τους όσο και η κατανόησή μας για τη φύση τους έχουν αλλάξει δραματικά από την εποχή του Γαλιλαίου. Το μεσαιωνικό *quadrivium* αποτελούνταν από την αριθμητική, τη γεωμετρία, την αστρονομία και τη μουσική, αλλά οι φιλόσοφοι του μεσαίωνα όριζαν τα μαθηματικά ως την επιστήμη της ποσότητας, διακριτής (αριθμητική) και συνεχούς (γεωμετρία), ίσως επειδή θεωρούσαν την αστρονομία και τη μουσική ως απλές εφαρμογές. Ακόμη και έτσι, ο ορισμός ήταν πολύ στενός, διότι ορισμένες από τις πιο βασικές αλήθειες της γεωμετρίας –για παράδειγμα, ότι ένα επίπεδο που τέμνει μια πλευρά ενός τριγώνου και δεν περιέχει καμία από τις κορυφές του τέμνει αναπόφευκτα μία και μόνο μία από τις δύο άλλες πλευρές– έχουν πολύ λίγη σχέση με την έννοια της ποσότητας. Κατά τους αιώνες μετά την εποχή του Γαλιλαίου, τα μαθηματικά απέκτησαν μεγαλύτερο εύρος και βάθος, και σήμερα κανείς πληροφορημένος άνθρωπος δεν μπορεί να δεχτεί το μεσαιωνικό ορισμό. Μάλιστα, ο πλούτος και η ποικιλία των μαθηματικών σπουδών έχουν φτάσει σε ένα σημείο στο οποίο δεν είναι εύκολο να πούμε υπό ποία έννοια τα μαθηματικά είναι ένα ενιαίο σύνολο. Ωστόσο, προκειμένου να κατανοήσουμε τη χρήση των μαθηματικών στη σύγχρονη φυσική, μάλλον πρέπει να προσέξουμε μόνο δύο γενικά χαρακτηριστικά. (1) Οι μαθηματικές μελέτες βασίζονται σε ακριβώς καθορισμένες υποθέσεις και συνάγουν τις συνέπειες αυτών των υποθέσεων, καταλήγοντας σε συμπεράσματα που είναι εφαρμόσιμα σε οτιδήποτε τυχαίνει να ικανοποιεί τις υποθέσεις. Έτσι το αντικείμενο των μαθηματικών έχει να κάνει με την κατασκευή και τη συνακόλουθη ανάλυση εννοιών, και όχι με την αναζήτηση πραγματικών παραδειγμάτων αυτών των εννοιών. (2) Μια μαθηματική θεωρία κατασκευάζει και αναλύει μια έννοια εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε συλλογή αντικειμένων, ανεξάρτητα από την εγγενή φύση τους, τα οποία σχετίζονται μεταξύ τους κατά τρόπους που, με την κατάλληλη περιγραφή, συμφωνούν με τις υποθέσεις της θεωρίας. Οι μαθηματικές μελέτες δεν ενδιαφέρονται για τα ίδια τα αντικείμενα αλλά μόνο για το σύστημα των σχέσεων που είναι εν-

⁵ Benedetto Castelli (*Risposta alle opposizioni*, στο Γαλιλαίος, EN IV, 756).

σωματωμένες σ' αυτά. Με άλλα λόγια, τα μαθηματικά έχουν να κάνουν με τη *δομή* και με *είδη* δομών.⁶

Με τη γνώση που διαθέτουμε σήμερα μπορούμε να εντοπίσουμε τις απαρχές των δομοστικών μαθηματικών στην επινόηση της αναλυτικής γεωμετρίας από τον Καρτέσιο, ο οποίος κατάφερε να επιλύσει γεωμετρικά προβλήματα μεταφράζοντάς τα σε αλγεβρικές εξισώσεις καθώς το σύστημα σχέσεων διάταξης, πρόσπτωσης και σύμπτωσης μεταξύ σημείων, γραμμών και επιφανειών στο χώρο, το οποίο μελετάται από την κλασική γεωμετρία, μπορεί να θεωρηθεί ενσωματωμένο –κατά μία κατάλληλη ερμηνεία– στο σύνολο των διατεταγμένων τριάδων πραγματικών αριθμών και σε κάποια από τα υποσύνολά του. Η ίδια δομή –λένε οι μαθηματικοί σήμερα– *συγκεκριμενοποιείται* μέσω γεωμετρικών σημείων και μέσω τριάδων πραγματικών αριθμών. Τα σημεία μπορούν να τεθούν –κατά πολλούς τρόπους– σε μία ένα προς ένα αντιστοιχία με τις τριάδες των αριθμών. Μια τέτοια αντιστοιχία είναι γνωστή ως *σύστημα συντεταγμένων*, με τους τρεις αριθμούς που αποδίδονται σε δεδομένο σημείο να είναι οι *συντεταγμένες* του σημείου εντός του συστήματος. Για παράδειγμα, διαμορφώνουμε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων επιλέγοντας τυχαία τρία κάθετα μεταξύ τους επίπεδα K , L , M σε ένα δεδομένο σημείο O αποδίδουμε τις συντεταγμένες $\langle a, b, c \rangle$ αν οι αποστάσεις από το σημείο O μέχρι τα επίπεδα K , L , και M είναι, αντίστοιχα, $|a|$, $|b|$, και $|c|$, με την επιλογή του θετικού ή αρνητικού a (αντίστοιχα, b , c) να καθορίζεται μέσω σύμβασης από την πλευρά του K (αντίστοιχα, L , M) στην οποία ανήκει το O . Η *αρχή* του συστήματος συντεταγμένων είναι η τομή των επιπέδων K , L , και M , δηλαδή, το σημείο με συντεταγμένες $\langle 0, 0, 0 \rangle$. Η τομή των επιπέδων L και M είναι γνωστή ως άξονας x , επειδή μόνο η πρώτη συντεταγμένη –η οποία συνήθως συμβολίζεται με x – μεταβάλλεται κατά μήκος του, ενώ οι άλλες δύο είναι εκ ταυτότητας ίσες με 0 (ομοίως, ο άξονας y είναι η τομή των επιπέδων K και M , ενώ ο άξονας z είναι η τομή των επιπέδων K και L). Η σφαίρα με κέντρο το σημείο O και ακτίνα r αναπαρίσταται από το σύνολο των τριάδων $\langle x, y, z \rangle$ που είναι τέτοιες ώστε $(x - a)^2 + (y - b)^2 + (z - c)^2 = r^2$. Έτσι, αυτή η εξίσωση εκφράζει κατάλληλα τη συνθήκη ότι ένα κατά τα άλλα τυχαίο σημείο –που συμβολίζεται με $\langle x, y, z \rangle$ – ανήκει στη σφαίρα (O, r) .

Δίνοντας προσοχή στους δομικούς σχηματισμούς παρά στις ιδιαιτερότητες των περιεχομένων, η μαθηματική φυσική κατάφερε να βρει

⁶ Για δύο πρόσφατες, ελαφρώς διαφορετικές, φιλοσοφικές πραγματεύσεις αυτής της ιδέας βλέπε Shapiro (1997) and Resnik (1997).

συγγένειες, ακόμη και ταυτότητες, εκεί που ο κοινός νους μπορούσε να δει μόνο διαφορές, με το πιο αξιοσημείωτο παράδειγμα αυτού του γεγονότος να είναι ενδεχομένως η ανακάλυψη του Maxwell ότι το φως είναι ένα αμιγώς ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο (§4.2). Μια πιο ταπεινή αλλά περισσότερο διάχυτη και αρκετά σημαντική έκφραση της δομιστικής σκέψης δίνεται από γραφήματα ως προς το χρόνο τα οποία στις μέρες μας εμφανίζονται παντού, σε πολιτικές ομιλίες και επαγγελματικές παρουσιάσεις, σε επιστημονικά βιβλία και στον ημερήσιο τύπο. Στα γραφήματα αυτά, σχεδιάζεται, έστω, κατακόρυφα, το υπό μελέτη μέγεθος, ενώ ο οριζόντιος άξονας του γραφήματος αναπαριστά μια χρονική περίοδο. Αυτή η αναπαράσταση προϋποθέτει ότι ο χρόνος είναι, τουλάχιστον κατά κάποιους τρόπους, δομικά όμοιος με μια ευθεία: Οι χρονικές στιγμές αντιστοιχίζονται στα σημεία της ευθείας έτσι ώστε οι σχέσεις του ενδιαμέσου και της διαδοχής μεταξύ των χρονικών στιγμών να αντικατοπτρίζονται από τις σχέσεις του ενδιαμέσου και του 'βρίσκεται στα δεξιά του' μεταξύ των σημείων της ευθείας, και έτσι ώστε το μήκος των χρονικών διαστημάτων να μετράται με κάποιο συμβατικό τρόπο από το μήκος των ευθύγραμμων τμημάτων.

Μια τέτοια αντιστοίχιση μεταξύ του χρόνου και μιας ευθείας στο χώρο δημιουργείται φυσιολογικότερα μ' αυτή καθεαυτή την πράξη της ομαλής κίνησης πάνω σ' αυτή την ευθεία, όπου κάθε σημείο της τελευταίας αντιστοιχεί με μοναδικό τρόπο στην χρονική στιγμή κατά την οποία το κινητό φτάνει στο σημείο αυτό. Αυτή η ιδέα είναι παρούσα ήδη στη συλλογιστική που χρησιμοποιεί ο Αριστοτέλης προκειμένου να αντικρούσει το επιχείρημα του «παραδόξου της Διχοτομίας» του Ζήνωνα κατά της κίνησης. Ο Ζήνων ο Ελεάτης ισχυρίστηκε ότι ένας αθλητής δεν μπορούσε να διανύσει μια δεδομένη απόσταση, επειδή πριν διανύσει οποιοδήποτε τμήμα της, όσο μικρό κι αν ήταν αυτό, θα έπρεπε να διανύσει το μισό αυτού του τμήματος. Η απάντηση του Αριστοτέλη ήταν –κάπως παραφρασμένη– ότι αν κάποιος διαθέτει χρόνο t για να διανύσει ολόκληρη την απόσταση d θα έχει επίσης χρόνο για να διανύσει πρώτα απόσταση $1/2 d$, δηλαδή, το πρώτο μισό του t (βλ. *Φυσικά* 233^a21). Στην πραγματικότητα, ο ίδιος ο Ζήνων είχε απεικονίσει υπόρρητα το χρόνο στο χώρο –δηλαδή, είχε αποδώσει ένα μοναδικό σημείο του χώρου σε κάθε στιγμή του χρόνου– στο «παραδόξο του Βέλους», στο οποίο υποστηρίζει ότι ένα βέλος σε κίνηση δεν κινείται ποτέ, μια και σε κάθε χρονική στιγμή βρίσκεται σε μια καθορισμένη θέση. Η απεικόνιση του Ζήνωνα επαναλαμβάνεται κάθε λεπτό, κάθε ώρα και κάθε μισή μέρα στο καντράν του ρολογιού μας μέσω της κίνησης των δεικτών, και είναι τόσο βα-

θειά ριζωμένη στη συνήθη ιδέα που έχουμε για το χρόνο ώστε έχουμε την τάση να ξεχνάμε πως ο χρόνος, όπως ουσιαστικά τον βιώνουμε, επιδεικνύει τουλάχιστον ένα δομικό χαρακτηριστικό που δεν αντικατοπτρίζεται στη χωρική αναπαράσταση, δηλαδή, τη διαίρεση μεταξύ παρελθόντος και μέλλοντος. (Μάλιστα, ορισμένοι φιλόσοφοι έχουν ισχυριστεί με θράσος ότι αυτή η διαίρεση είναι «υποκειμενική» –εννοώντας μ' αυτό απατηλή– και έτσι καλά θα κάναμε να την ξεχάσουμε... αν μπορούμε.)

Ομοίως, υπάρχει μια δομική συγγένεια μεταξύ όλων των διαφορετικών ειδών συνεχών ποσοτήτων που σχεδιάζουμε στο χαρτί. Ο Καρτέσιος το γνώρισε πολύ καλά αυτό και έγραψε ότι «τίποτε δεν λέγεται για τα μεγέθη εν γένει που να μην μπορεί επίσης να αναφερθεί ειδικά για οποιοδήποτε απ' αυτά», έτσι ώστε «το όφελος θα είναι μεγάλο κατά τη μεταφορά όσων κατανοούμε ότι ισχύουν για τα μεγέθη εν γένει στο είδος μεγέθους που απεικονίζεται με μέγιστη ευκολία και ευκρίνεια στη φαντασία μας, δηλαδή, στην πραγματική έκταση του σώματος, στερημένης από οτιδήποτε άλλο εκτός από το σχήμα της» (ΑΤ Χ, 441). Από τη στιγμή που όλα τα είδη των ποσοτήτων αναπαρίστανται στο χώρο, είναι φυσικό να τα συνδυάσουμε σε αλγεβρικές πράξεις όπως εκείνες που όρισε ο Καρτέσιος για τα ευθύγραμμα τμήματα.⁷ Η μαθηματική φυσική κάνει αυτές τις πράξεις για σχεδόν τέσσερις αιώνες, αλλά είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι κάποια στιγμή αυτή η ιδέα υπήρξε επαναστατική. Οι Έλληνες είχαν αναπτύξει το λογισμό των αναλογιών, αλλά δεν ανέχονταν λόγους μεταξύ ετερογενών ποσοτήτων, π.χ. μεταξύ απόστασης και χρόνου, ή μεταξύ μάζας και όγκου. Και όμως ένας παγκόσμιος λογισμός λόγων έμοιαζε αρκετά εύκολος όταν σχηματίστηκαν λόγοι μεταξύ ομογενών ποσοτήτων. Διότι, σε τελική ανάλυση, ακόμη κι αν αισθανόμαστε ελεύθεροι να συγκρίνουμε ποσότητες του αυτού είδους, οι *λόγοι* που εγκαθιδρύονται από τέτοιες συγκρίσεις μπορούν να διαταχθούν κατά μέγεθος, να προστεθούν και να πολλαπλασιαστούν, και να συγκριθούν μεταξύ τους σαν να συνιστούν ένα νέο είδος ποσότητας αφ' εαυτών. Άρα, αν το μήκος b είναι διπλάσιο του μήκους a και το βάρος w είναι διπλάσιο του βάρους v , τότε ο λόγος b/a είναι ίδιος με το λόγο w/v και διπλάσιος του λόγου $w/(v + v)$. Ο Ευκλείδης εξίσωσε ρητά, για παράδειγμα, το λόγο δύο εμβαδών με ένα

⁷ Οι πάντες γνωρίζουν πώς να προσθέσουν δύο ευθύγραμμα τμήματα a και b ώστε να σχηματιστεί ένα τρίτο $a + b$. Ο Καρτέσιος έδειξε τον τρόπο εύρεσης ενός τμήματος $a \times b$ που είναι το *γινόμενο* των a και b : το $a \times b$ πρέπει να είναι ένα ευθύγραμμο τμήμα που σχηματίζει τον ίδιο λόγο με το a όπως το b με το μοναδιαίο τμήμα.

λόγο όγκων, καθώς και με ένα λόγο μηκών (Βιβλίο XI, Προτάσεις 32, 34), ενώ ο Αρχιμήδης εξίσωσε ένα λόγο μηκών με ένα λόγο χρόνων (*Περί Ελίκων*, Πρότ. Ι). Ο Γαλιλαίος επέκτεινε αυτή την αντιμετώπιση σε ταχύτητες και επιταχύνσεις. Στο έργο του *Δύο Νέες Επιστήμες* του 1638,⁸ ο Γαλιλαίος ορίζει την ομαλή κίνηση μέσω τεσσάρων «αξιωμάτων». Έστω ότι ο δείκτης i παίρνει τιμές από το σύνολο $\{1,2\}$. Συμβολίζουμε με s_i την απόσταση που διανύθηκε από ένα κινητό σε χρόνο t_i , και με v_i την ταχύτητα με την οποία το σώμα διανύει την απόσταση s_i σε συγκεκριμένο χρόνο. Το σώμα πραγματοποιεί *ομαλή κίνηση* αν και μόνο αν (i) $s_1 > s_2$ αν $t_1 > t_2$, (ii) $t_1 > t_2$ αν $s_1 > s_2$, (iii) $s_1 > s_2$ αν $v_1 > v_2$, και (iv) $v_1 > v_2$ αν $s_1 > s_2$. Από αυτά τα αξιώματα ο Γαλιλαίος συνάγει με την ύψιστη προσοχή μια αλληλουχία σχέσεων μεταξύ αποστάσεων, χρόνων και ταχυτήτων, που κορυφώνεται με τη δήλωση ότι «αν δύο κινητά πραγματοποιούν ομαλή κίνηση, ο λόγος των ταχυτήτων τους θα είναι το γινόμενο του λόγου των αποστάσεων που διανύθηκαν και του αντιστρόφου λόγου των χρόνων», την οποία, αν συμβολίσουμε επακριβώς τις ποσότητες που αφορούν σε κάθε σώμα αντίστοιχα με τονούμενα και άτονα γράμματα, θα την εκφράσουμε ως εξής:

$$\frac{v}{v'} = \left(\frac{s}{s'}\right) \left(\frac{t'}{t}\right) \quad (1.1)$$

Θεωρώντας την αντίστροφη τιμή του λόγου των χρόνων, ο λόγος των ταχυτήτων μπορεί επίσης να εκφραστεί ως λόγος λόγων:

$$\frac{v}{v'} = \left(\frac{s}{s'}\right) / \left(\frac{t}{t'}\right) \quad (1.2)$$

Αν τώρα υποθέσουμε ότι το σώμα στο οποίο αναφέρονται οι τονούμενες ποσότητες κινείται με ταχύτητα μοναδιαίου μέτρου, διανύει μοναδιαία απόσταση σε μοναδιαίο χρόνο, η εξ. (1.1.) μπορεί να γραφεί εκ νέου ως εξής:

$$\frac{v}{1} = \left(\frac{s}{1}\right) / \left(\frac{t}{1}\right) \quad (1.3)$$

η οποία, εκτός από τη σχολαστικότητα του να γράψουμε τις μονάδες '1', συμφωνεί με τον οικείο από τα σχολικά βιβλία μας ορισμό της σταθερής ή μέσης ταχύτητας.

⁸ Σ.Τ.Ε. Πρόκειται για το έργο *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze* (*Πραγματείες και Μαθηματικές Αποδείξεις σχετικά με δύο νέες επιστήμες*) το οποίο, χάριν συντομίας, συχνά αναφέρεται διεθνώς ως *Discorsi* ενώ στα ελληνικά ως *Δύο Νέες Επιστήμες*.

1.2 ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Η πιο εντυπωσιακή διαφορά μεταξύ της σύγχρονης θεώρησης της φύσης και εκείνης του Αριστοτέλη έγκειται στο διαχωρισμό που εγκαθίδρυσε ο ίδιος ο Αριστοτέλης μεταξύ του ουρανού και της περιοχής κάτω από τη σελήνη. Ενώ τα πάντα στην τελευταία αποτελούνται σε τελική ανάλυση από τέσσερα «απλά σώματα» –τη φωτιά, τον αέρα, το νερό και τη γη– τα οποία μετασχηματίζονται το ένα στο άλλο, καθώς και στη θαυμαστή ποικιλία των διαρκώς μεταβαλλόμενων οργανισμών, ο ουρανός αποτελείται εξ ολοκλήρου από αιθέρα, ένα απλό σώμα που είναι πολύ διαφορετικό από τα υπόλοιπα τέσσερα, το οποίο είναι ικανό μόνο για ένα είδος μεταβολής, δηλαδή για κυκλική κίνηση με σταθερή ταχύτητα γύρω από το κέντρο του κόσμου. Αυτός ο τρόπος μεταβολής είναι, βέβαια, ελάχιστος, αλλά αδιάκοπος. Η κυκλική κίνηση του ουρανού δρα με αποφασιστικό τρόπο στην υποσεληνια περιοχή διαμέσου της αλληλουχίας της νύχτας και της μέρας, του μηνιαίου σεληνιακού κύκλου, και των εποχών, αλλά ο αιθέρας παραμένει απρόσβλητος σε αντιδράσεις προερχόμενες από κάτω, διότι κανένα σώμα δεν μπορεί να δράσει πάνω του.

Αυτός ο μερισμός της φύσης, τον οποίο υιοθέτησαν ευχαρίστως διανοούμενοι του μεσαίωνα όπως ο Ακινάτης και ο Δάντης, βρέθηκε αντίθετος προς τον πυρήνα της ελληνικής φυσικής φιλοσοφίας. Η ιδέα της φύσης ως ένα ενιαίο βασίλειο δημιουργίας και ύπαρξης, στο οποίο τα πάντα δρούσαν σε και αντιδρούσαν με όλα τα υπόλοιπα κάτω από την επίδραση παγκόσμιων περιορισμών και κανονικοτήτων, αναδύθηκε κατά τον έκτο αιώνα π.Χ. μεταξύ των πρώτων Ελλήνων φιλοσόφων. Η παράδοσή τους συνεχίστηκε μέχρι τη Ρωμαϊκή αυτοκρατορία από τους Στωικούς και τους Επικούρειους. Σε σύγκριση μ' αυτή την ιδέα, το σύστημα του Αριστοτέλη για τον κόσμο μοιάζει αντιδραστικό, ένα χρυσομένο χαπάκι για τη λαϊκή ευλάβεια, η οποία ήταν εντελώς αντίθετη σε θεωρήσεις όπως, για παράδειγμα, ότι ο ήλιος είναι ένας διάπυρος βράχος. Όμως το σύμπαν του Αριστοτέλη με τα δύο διαζώματα ήταν παρ' όλα αυτά ενοποιημένο μέσω στέρεων αρχών, οι οποίες ήταν πιο ευφείς και πιο ενδιαφέρουσες από οτιδήποτε παρουσίαζαν οι ανταγωνιστές του (απ' όσο μπορούμε να κρίνουμε από διασωθέντα κείμενα) και ασφαλώς αξίζουν τουλάχιστον τα ίδια εύσημα στην επιτυχία του Αριστοτέλη στο χριστιανικό κόσμο που αποδίδονται και στη συγγένεια μεταξύ της ελληνικής και της χριστιανικής λαϊκής θρησκείας. Ο Γαλιλαίος, ο Καρτέσιος και άλλοι θεμελιωτές της σύγχρονης φυσικής γαλουχήθηκαν με τις Αριστοτελικές αρχές, αλλά τις απέρριψαν με εντυπωσιακή ομοψυχία. Θα είναι χρή-

σιμο να δούμε εν συντομία αυτές τις αρχές προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα αυτό που τις αντικατέστησε.

Ο Αριστοτέλης παρατηρεί επανειλημμένα ότι το ρήμα «*εἶναι*» έχει πολλαπλές σημασίες («*τὸ ὄν λέγεται πολλαχῶς*» – *Μετά τα Φυσικά* 1003^b5, 1028^a10). Η αμφισημία είναι πολλαπλή. Έχουμε, πρώτα απ' όλα, τη διάκριση «σύμφωνα με τα σχήματα της κατηγορήσεως» μεταξύ του *εἶναι μια υπόσταση* –ένα δένδρο, ένα άλογο, ένας άνθρωπος– και του *εἶναι μια ιδιότητα* –μια ποιότητα, ποσότητα, σχέση, στάση, προδιάθεση, τόπος, χρόνος, δράση, ή πάθος– υποστάσεων.⁹ Ο Αρι-

⁹ Σ.Τ.Ε. Ακολουθούμε *κατά κανόνα* τη διαδεδομένη πρακτική χρήσης του όρου 'υπόσταση' για την απόδοση στα ελληνικά του όρου 'substance' (λατ. 'substantia'), σύμφωνα με την οποία ο όρος 'ουσία' διαφυλάσσεται για την απόδοση του όρου 'essence' (λατ. 'essentia'). Μερικές σύντομες διευκρινίσεις για τις σημασίες των όρων και τη δικαιολόγηση του τρόπου απόδοσής τους στα ελληνικά. Πολύ γενικά, η φιλοσοφική παράδοση αναγνωρίζει ως *υπόσταση* μια οντολογικά πρωταρχική οντότητα η οποία είναι δυνατόν να υπάρξει ανεξάρτητα από οτιδήποτε εξωτερικό (εκτός, ίσως, από τα μέρη της ή τον Δημιουργό της), είναι φορέας ιδιοτήτων και υπόκειται στις όποιες μεταβολές των (μη ουσιωδών) ιδιοτήτων της διατηρώντας την ταυτότητά της (στο χρόνο). Από την άλλη, η *ουσία* μιας οντότητας είναι το σύνολο των ιδιοτήτων που η οντότητα αυτή πρέπει *κατ' ανάγκην* να έχει για να υπάρχει ως η οντότητα που είναι (ή για να ανήκει στο είδος που ανήκει). Οι ουσιώδεις ιδιότητες αντιδιαστέλλονται με τις επουσιώδεις ή «κατά συμβεβηκός» ιδιότητες: τις ιδιότητες που μια υπόσταση φέρει κατά ενδεχομενικό τρόπο και τις οποίες μπορεί να απολέσει χωρίς να χάσει την ταυτότητά της.

Μια, έστω επιφανειακή, γνώση της ιστορίας της φιλοσοφικής μεταφυσικής αποκαλύπτει το σχηματικό χαρακτήρα των διευκρινίσεων αυτών. Διαφορετικοί φιλόσοφοι επεφύλαξαν διαφορετικούς εννοιολογικούς ρόλους για τους εν λόγω όρους, αναγνώρισαν ως υποστάσεις διαφορετικά είδη οντοτήτων, υποστήριξαν ότι οι οντότητες δεν χαρακτηρίζονται από ουσίες (ανεξάρτητα από τον τρόπο περιγραφής τους), αμφισβήτησαν την ίδια την ύπαρξη υποστάσεων, κ.ά. Ειδικότερα, η χρήση του όρου 'υπόσταση' στο πλαίσιο της αριστοτελικής μεταφυσικής αποτελεί –ίσως, ανεπίτρεπτο, για ορισμένους– αναχρονισμό. Και τούτο γιατί, μεταξύ άλλων, ο ίδιος ο Αριστοτέλης χρησιμοποιεί κατά τύπους τον όρο 'ουσία' με τη σημασία που αποδίδεται εδώ στον όρο 'υπόσταση'. Οι ιστορικοί της φιλοσοφίας ας συγχωρέσουν τον επιμελητή του ανά χείρας τόμου για τις μεταφραστικές επιλογές που έκανε επιδιώκοντας την αποκατάσταση *κάποιας* ομοιομορφίας. Ας σημειωθεί, επίσης, ότι στο αγγλικό πρωτότυπο ο συγγραφέας εισάγει σε αυτό ακριβώς το σημείο μια υποσημείωση για να εξηγήσει ότι ενώ η έκφραση 'being, properly so called' αποτελεί ακριβέστερη μετάφραση του αριστοτελικού όρου 'ουσία' (που προέρχεται από το ρήμα 'είναι') σε σύγκριση με τον όρο 'substance', ο ίδιος θα εξακολουθήσει να χρησιμοποιεί τον δεύτερο επειδή είχε ήδη επικρατήσει (στη λατινική του εκδοχή) κατά τους νεότερους χρόνους.

Υπάρχει, τέλος, μια σημασία της λέξης 'substance' για την απόδοση της οποίας θα διατηρήσουμε μολταταύτα τον όρο 'ουσία'. Πρόκειται για τη σημασία με την οποία χρησιμοποιείται ο όρος περισσότερο στην επιστήμη της χημείας (πρβ. «χημι-

στοτέλης αναφέρει άλλα τρία τέτοια φάσματα σημασιών, αλλά χρειάζεται να θεωρήσουμε μόνο ένα από αυτά, δηλαδή, τη διάκριση μεταξύ του *ἐνεργεία* (*ἐντελεχεία*) *εἶναι* και του *δυνάμει εἶναι*. Αυτή η διάκριση αποτελεί το κλειδί για την κατανόηση του Αριστοτέλη σχετικά με την οργανική ανάπτυξη, η οποία είναι το δικό του υπόδειγμα μεταβολής (ακριβώς όπως οι οργανισμοί είναι το υπόδειγμά του για την υπόσταση – *Μετά τα Φυσικά* 1032^a19). Θεωρήστε ένα σπόρο καλαμποκιού. Στην πραγματικότητα, «*ἐνεργεία*», πρόκειται απλώς για ένα μικρό σκληρό κίτρινο σπόρο. Ωστόσο, *δυνάμει*, πρόκειται για μια καλαμποκιά. Για όσο διάστημα βρίσκεται αποθηκευμένος η δυναμικότητα είναι εν υπνώσει, ωστόσο η παρουσία της μπορεί να κριθεί από το γεγονός ότι μπορεί να καταστραφεί, για παράδειγμα, αν ο σπόρος σαπίσει, ή μαγειρευτεί, ή αν τον ροκανίσει ένα έντομο. Η δυναμικότητα ενεργοποιείται όταν ο σπόρος φυτευτεί και αναπτυχθεί. Από εκείνη τη στιγμή και μετά υφίσταται μια διαδικασία στη διάρκεια της οποίας η τροφή που περιέχει, συν νερό και θρεπτικές ουσίες που απορροφά από το περιβάλλον, οργανώνονται ως φύλλα, άνθη, και σπάδικες μιας καλαμποκιάς. Η διαδικασία έχει ένα στόχο, τον οποίο ο σπόρος μας κληρονόμησε από τους γονείς του. Δεν είναι άλλος από τη *μορφή* ή το *είδος* του οποίου αυτό το φυτό αποτελεί ξεχωριστή πραγμάτωση. Η μορφή είναι αυτή λόγω της οποίας *αυτό* είναι μια καλαμποκιά και *εκείνο* ένας κροκόδειλος. Αν μια υπόσταση είναι πλήρως και αμετάβλητα αυτό που είναι, η μορφή της είναι όλα όσα την αποτελούν. Έτσι συμβαίνει με τους θεούς. Όμως μια υπόσταση που μπορεί να μεταβάλλεται από οποιαδήποτε άποψη είναι ένα μείγμα μορφής και *ύλης* (κυριολεκτικά σημαίνει «ξύλο»), όρος κάτω από τον οποίο ο Αριστοτέλης συγκεντρώνει όλα όσα υπάρχουν εν ενεργεία ή εν υπνώσει δυναμικά σε μια ουσία. Μόνο τέτοιες υποστάσεις μπορούμε να πούμε πως έχουν μια «φύση» σύμφωνα με τον αριστοτελικό ορισμό αυτού του όρου, δηλαδή μια εγγενή αρχή κίνησης και ηρεμίας.

κή ουσία») παρά στη φιλοσοφία. Κατά τη σημασία αυτή, μια ουσία δεν είναι κάποια ατομική οντότητα, ούτε καν κάποιο είδος ατομικών οντοτήτων, αλλά ένα είδος ύλης ή υλικού όπως ο χρυσός, το νερό, κ.λπ. (Σύμφωνα με μια άποψη, κάθε τέτοιο υλικό συγκροτεί ένα φυσικό είδος που χαρακτηρίζεται από μια ουσία κατά την προαναφερθείσα μεταφυσική σημασία του όρου: ο χρυσός από το ότι έχει ατομικό αριθμό 79, το νερό από το ότι έχει μοριακή δομή H₂O, κ.λπ.). Αλλά και πάλι οι εννοιολογικές διακρίσεις δεν ήταν και δεν είναι τόσο στεγανές. Θα μπορούσε εύλογα να ισχυριστεί κανείς, για παράδειγμα, ότι αυτά που αναγνώριζαν ως υποστάσεις μερικοί προσωκρατικοί φιλόσοφοι δεν ήταν παρά είδη ύλης ή υλικά – το νερό στην περίπτωση του Θαλή ή ο αέρας στην περίπτωση του Αναξίμανη.

Παρ' όλο που προφανώς η ανάπτυξη των οργανισμών ήταν αυτή που ενέπνευσε τη συνολική αντίληψη του Αριστοτέλη περί μεταβολής, δεν αναγνωρίζεται ως ένα διακριτό είδος στην ταξινόμησή του για τις μεταβολές. Η τελευταία είναι προσαρμοσμένη στα δικά του σχήματα κατηγορήσης. Ο Αριστοτέλης διακρίνει (α) τη γένεση και τη φθορά υποστάσεων, και (β) τρία είδη μεταβολής στις ιδιότητες μιας δεδομένης υπόστασης, τα οποία ομαδοποιεί κάτω από τον όρο *κίνηση*, δηλαδή, (β₁) αλλοίωση ή αλλαγή σε ποιότητα, (β₂) αύξηση και μείωση ή αλλαγή σε ποσότητα, και (β₃) τοπική κίνηση –*φορά*– ή μεταβολή της θέσης. Εμείς πρέπει να θεωρήσουμε μόνο τις περιπτώσεις (α) και (β₃), την πρώτη επειδή θεωρούνταν πως είχε να κάνει με ένα είδος ύλης –κατά την Αριστοτελική έννοια– που κατέληξε να νοείται ως ύλη στη μη Αριστοτελική νεότερη έννοια, ενώ την δεύτερη επειδή η μεταβολή της θέσης ήταν το μοναδικό είδος μεταβολής που αυτή η νέα ελλειπής ύλη μπορούσε πραγματικά να υποστεί.

Η αλλαγή θέσης (*φορά*) αντιμετωπιζόταν από τον Αριστοτέλη ως ένα από τα πολλά είδη *κίνησης*. Η οργανική ανάπτυξη ήταν ένα άλλο, κάπως πιο αποκαλυπτικό, είδος. Ο Αριστοτέλης έγραψε ότι η *κίνηση* είναι «η *ἐνεργεία* ύπαρξη του δυνάμει όντος θεωρουμένου ως δυνάμει όντος» (*Φυσικά* 201^a11) – ένας ορισμός τον οποίο ο Καρτέσιος απέρριψε ως αερολογία (AT X, 426· XI, 39) αλλά που έχει ασφαλώς νόημα αναφορικά με ένα σπόρο καλαμποκιού ο οποίος αναπτύσσεται σε φυτό όταν πραγματώνονται οι έμφυτες δυνητικότητες του.¹⁰ Η κίνηση επομένως γίνεται αντιληπτή από τον Αριστοτέλη ως τρόπος ύπαρξης. Το βέλος του Ζήνωνα βέβαια *υπάρχει* σε κάποια θέση σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, αλλά κινείται, δεν είναι ακίνητο εκεί, μια και αυτή τη στιγμή εξασκεί τη φυσική του δυνητικότητα για να βρεθεί αλλού, δηλαδή, στο κέντρο του σύμπαντος, όπου, σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, θα κατέληγε φυσιολογικά ακίνητο, αν του επιτρεπόταν να πέσει ανεμπόδιστα.

Ανέφερα νωρίτερα τη διδασκαλία του Αριστοτέλη περί των τεσσάρων απλών σωμάτων από τα οποία αποτελούνται τα πάντα κάτω από τη σελήνη. Αυτά τα σώματα χαρακτηρίζονται από τις απλές τους ποιότητες, μία από κάθε ζεύγος αντιθέτων, θερμό/ψυχρό και υγρό/ξηρό, και τις απλές κινήσεις τους, οι οποίες αποτελούν τη βάση για την

¹⁰ Σ.Τ.Ε. Στο αριστοτελικό κείμενο ακολουθεί, μεταξύ άλλων, το παράδειγμα: *όταν* το οικοδομήσιμο υπάρχει ενεργεία ως τέτοιο (δηλαδή, όχι απλώς ως ύλη αλλά ως ύλη που *διαμορφώνεται* σε οικοδόμημα), τότε οικοδομείται και σε αυτό συνίσταται η μεταβολή («κίνηση») της οικοδόμησης. Για τον ορισμό βλ. και *Μετά τα φυσικά* K 9 1065^b19: «*τῆν τοῦ δυνάμει ἢ τοιοῦτον ἐστὶν ἐνεργεία λέγω κίνησιν*».

ταξινόμησή τους ως ελαφρά ή βαρέα σώματα. Έτσι, η φωτιά είναι *θερμή*, *ξηρή* και *ελαφριά*, ώστε η φυσική της κίνηση να είναι ευθύγραμμη και απομακρυνόμενη από το κέντρο του σύμπαντος μέχρι να σταματήσει στο σύνορο της χαμηλότερης ουράνιας σφαίρας· η γη είναι *ξηρή*, *ψυχρή* και *βαριά*, δηλαδή, η φυσική της κίνηση είναι ευθύγραμμη και με φορά προς το κέντρο του σύμπαντος μέχρι να σταματήσει όταν φτάσει σ' αυτό· το νερό είναι *υγρό*, *ψυχρό* και *βαρύ* (αν και λιγότερο βαρύ από τη γη)· και ο αέρας είναι *θερμός*, *υγρός* και *ελαφρύς* (αν και λιγότερο από τη φωτιά). Η αντίληψη του Αριστοτέλη για το ελαφρύ και το βαρύ μπορεί σε αδρές γραμμές να εξηγήσει την οικεία εμπειρία μας από τον καπνό που ανέρχεται, τις πέτρες που πέφτουν στη γη και το πορώδες ξύλο που επιπλέει.¹¹ Όμως τι συμβαίνει με την πλήρη ποικιλία των πραγματικών κινήσεων; Για να αντιμετωπίσει αυτό το ζήτημα, ο Αριστοτέλης επιστρατεύει κάποιες επιπρόσθετες έννοιες. Παρ' ότι η φυσική προς τα πάνω ή προς τα κάτω ευθύγραμμη κίνηση των απλών στοιχείων κληροδοτείται στις ενώσεις τους, το βάρος των φυτών και των ζώων –τα οποία υποτίθεται ότι αποτελούνται και από τα τέσσερα στοιχεία, αλλά κυρίως από γη και νερό– μπορεί να υπερνικηθεί από τις επιγενόμενες μορφές τους. Έτσι ο κισσός αναρριχάται σε τοίχους και οι κατοίκες σκαρφαλώνουν σε βράχια. Τα απλά σώματα και οι ενώσεις τους υπόκεινται επίσης σε *εξαναγκασμένη* κίνηση (ή ηρεμία) *ενάντια* στη φύση τους, διαμέσου της ώθησης/έλξης τους (ή ακινητοποίησης/συγκράτησης) από άλλα σώματα που κινούνται (ή είναι ακίνητα) με φυσικό τρόπο. Έτσι ένα βαρύ κάρο αναγκάζεται να κινηθεί προς τα εμπρός από ένα ζεύγος βοδιών ενώ μια βαριά οροφή συγκρατείται και δεν πέφτει εξαιτίας μιας σειράς όρθιων πυλώνων. Όμως η αριστοτελική φυσική αντιμετώπισε δυσκολίες με την κίνηση βλημάτων. Αυτή η κίνηση θα πρέπει να είναι εξαναγκασμένη, επειδή τα βλήματα είναι βαριά αντικείμενα που συνήθως ανέρχονται σε μεγαλύτερο ύψος κατά το αρχικό στάδιο της κίνησής τους. Ωστόσο, είναι απομακρυσμένα από το κι-

¹¹ Ο σκεπτόμενος άνθρωπος θα βρει αυτή την αντίληψη εσφαλμένη ακόμη και σε θεμελιώδες επίπεδο. Φανταστείτε ότι έχουμε διανοίξει μια ευθεία σήραγγα διαμέσου της γης από εδώ μέχρι τους αντίποδες. Σύμφωνα με την αριστοτελική φυσική μια πέτρα που ρίχνεται σ' αυτή τη σήραγγα θα σταματήσει όταν φτάσει στο κέντρο του σύμπαντος (δηλαδή, της γης), παρ' ότι εκείνη τη στιγμή θα κινείται με τη μεγαλύτερη ταχύτητά της. Ο Αλβέρτος της Σαξωνίας, ο οποίος μελέτησε αυτό το νοητικό πείραμα περί το 1350, θεώρησε το αριστοτελικό συμπέρασμα μάλλον απίθανο. Κατ' αυτόν η πέτρα θα συνέχιζε να κινείται προς τους αντίποδες μέχρι να τη σταματήσει η έλξη προς το κέντρο της γης (η οποία, μετά τη διέλευση της πέτρας απ' αυτό, ασκείται προς την αντίθετη κατεύθυνση).

νούν τους, το οποίο αρχικά τα εξαναγκάζει να κινηθούν ενάντια στη φύση τους. Ο Αριστοτέλης (*Φυσικά* 266^b27-267^a20) πραγματεύεται δύο τρόπους αντιμετώπισης αυτής της δυσκολίας. Ο πρώτος τρόπος είναι γνωστός ως *αντιπερίσταση*: Το κινούμενο βλήμα εκτοπίζει τον αέρα που βρίσκεται μπροστά του, και ο ευκίνητος αέρας μετακινείται αμέσως πίσω από το βλήμα και το ωθεί προς τα εμπρός και προς τα πάνω. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται διαρκώς για κάποιο χρονικό διάστημα μετά από τη στιγμή που το βλήμα απομακρύνθηκε από τον ρίπτη. Αυτή η ευφάνταστη ιδέα αναφέρεται με επιδοκιμαστικό τρόπο στον *Τίμαιο* του Πλάτωνα (80a1), αλλά ο Αριστοτέλης κρατάει σοφά τις αποστάσεις του απ' αυτήν. Επίσης δεν δείχνει ιδιαίτερο ενθουσιασμό και για τη δεύτερη λύση, η οποία ουσιαστικά δεν είναι καλύτερη. Σύμφωνα μ' αυτή, ο ρίπτης προσδίδει μία προς τα εμπρός και προς τα πάνω ώθηση στον περιβάλλοντα αέρα, την οποία ο τελευταίος, όντας από φυσική άποψη ελαφρύς, διατηρεί και μεταδίδει σε άλλες ποσότητες αέρα. Αυτός ο αέρας ωθεί το βλήμα διαρκώς προς τα εμπρός μετά από την εκτόξευσή του.¹²

Παρά την προφανή ανεπάρκειά της, η θεωρία του Αριστοτέλη αναφορικά με τις φυσικές κινήσεις ελαφρών και βαρέων σωμάτων αποτελεί την πηγή της μοναδικής συλλογιστικής του για το ριζικό διαχωρισμό της υποσελήνιας από την ουράνια φυσική. Η συλλογιστική έχει ως εξής. Οι απλές κινήσεις είναι οι φυσικές κινήσεις απλών σωμάτων. Υπάρχουν δύο είδη απλών κινήσεων, δηλαδή, οι ευθύγραμμες και οι κυκλικές. Όμως όλα τα απλά σώματα τα οποία γνωρίζουμε από την υποσελήνια περιοχή κινούνται, με φυσικό τρόπο, ευθύγραμμα. Ως εκ τούτου, πρέπει να υπάρχει ένα απλό σώμα του οποίου η φυσική κίνηση να είναι κυκλική. Επιπλέον, ακριβώς όπως τα τέσσερα γνωστά απλά σώματα κινούνται ευθύγραμμα από και προς το κέντρο του σύμπαντος, έτσι και το πέμπτο απλό σώμα θα πρέπει να κινείται κυκλικά γύρω απ' αυτό το κέντρο. Το νυχτερινό θέαμα του περιστρεφόμενου ουράνιου θόλου προσδίδει χρώμα σ' αυτή την εκπληκτική συλλογιστική. Το συμπέρασμά της βρίσκεται σε συμφωνία, βέβαια, με τη ελληνική μαθηματική αστρονομία του τέταρτου αιώνα, η οποία ανέλυε τις κινήσεις του ήλιου, της σελήνης και

¹² Ο Ιωάννης ο Φιλόπονος, σχολιάζοντας τα *Φυσικά* του Αριστοτέλη κατά τον 6ο μ.Χ. αιώνα, επεσήμανε ότι αν αυτή η θεωρία περί της κίνησης βλημάτων ήταν σωστή, θα έπρεπε να μπορούμε να πετάμε πέτρες πιο αποτελεσματικά θέτοντας μια μεγάλη ποσότητα αέρα σε κίνηση πίσω απ' αυτές. Αυτό ακριβώς κατάφερε η Ευρώπη της Αναγέννησης με την πυρίτιδα. Ωστόσο, η απρόσμενα πλούσια και ακριβής εμπειρία αναφορικά με τα βλήματα την οποία παρέχει η σύγχρονη βλητική δεν έχει δικαιώσει τον Αριστοτέλη.