ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρον εργο αποτελεί καρπό συστηματικής διδασκαλίας ποικίλων πτυχών της Φιλοσοφίας της Φυσικής, αρχικά στο Πανεπιστήμιο του Κέιμπριτζ και εν συνεχεία στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, και ερευνητικού έργου δημοσιευμένου σε έγκριτα διεθνή επιστημονικά περιοδικά. Συνιστά ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του βιβλίου ότι, κατά την ιστορική εξέλιξη της αλληλεπίδρασης φυσικής και φιλοσοφίας, η ανάλυση γεγονότων και η διατύπωση θέσεων συνοδεύεται, πέραν της δευτερεύουσας βιβλιογραφίας, από την παράθεση των πρωτότυπων επιστημονικών, ιστορικών και φιλοσοφικών πηγών. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο αναγνώστης/η αναγνώστρια, συμμετέχοντας στη διαδικασία προς τη γνώση, αναγνωρίζει στοιχεία της ερευνητικής διαδικασίας καθαυτήν, διαμορφώνοντας παραλλήλως έναν δημιουργικό τρόπο του στοχάζεσθαι.

Η έκδοση του παρόντος έργου υπηρετεί, αφενός, διδακτικούς σκοπούς, υποστηρίζοντας τη διδασκαλία μαθημάτων στη Φιλοσοφία της Φυσικής καθώς και στην Ιστορία και Φιλοσοφία της Φυσικής, και, αφετέρου, τμήματα του βιβλίου, ιδίως αναφορικά με τη Φιλοσοφία της Κβαντικής Μηχανικής, εισάγουν τον ενδιαφερόμενο αναγνώστη στη σύγχρονη έρευνα στη Φιλοσοφία της Φυσικής του 21ου αιώνα. Τούτων λεχθέντων, τρέφω την ελπίδα ότι το ανά χείρας βιβλίο θα προσελκύσει επίσης το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών των φυσικών επιστημών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση παρέχοντας το έναυσμα και τη βάση για την προσέγγιση της διδασκαλίας της Φυσικής μέσα από τη Φιλοσοφία της Φυσικής. Ευελπιστώ ακόμη ότι ο διεπιστημονικός χαρακτήρας του βιβλίου, όπως και το είδος των ερωτημάτων που θέτει –μεθοδολογικής, επιστημολογικής και οντολογικής φύσεως ως προς τον χαρακτήρα και τη φύση της γνώσης (βλ. Κεφ. 1, *Φυσική και Φιλοσοφία*)–, θα αποσπάσει την προσοχή της φιλοσοφικής κοινότητας καθώς και κάθε αναγνώστη που ενδιαφέρεται για την εις βάθος φιλοσοφική ανάλυση της σύγχρονης φυσικής.

Κλείνοντας το σύντομο αυτό προλογικό σημείωμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους/τις συναδέλφους μου στο Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης για τη δημιουργία ενός πρόσφορου, εξωστρεφούς και παραγωγικού ακαδημαϊκού περιβάλλοντος. Ευχαριστίες οφείλω επίσης και στους φοιτητές μου –προπτυχια-

κούς, μεταπτυχιακούς, υποψήφιους διδάκτορες–, καθώς μου έδωσαν γόνιμα ερεθίσματα κατά την εκπαιδευτική διαδικασία και τη δυνατότητα αποσαφήνισης των θέσεών μου.

Βασίλειος Καρακώστας

Καθηγητής Φιλοσοφίας της Φυσικής
Πανεπιστημίου Αθηνών

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Φυσική και Φιλοσοφία

ΚΑΤΑΝΟΩ ΤΗ ΣΧΕΣΗ της Φυσικής και της Φιλοσοφίας ως λειτουργική και αμφίδρομη. Η εξέλιξη των ιδεών στη φυσική επιστήμη αποκαλύπτει ότι η υιοθέτηση διαφορετικών εννοιολογικών και φιλοσοφικών προσεγγίσεων υποδηλώνει εν γένει διαφορετικούς τύπους ερμηνείας και μελλοντικής ανάπτυξης της φυσικής θεωρίας. Και αντιστρόφως, η ανάπτυξη της φυσικής επιστήμης αναδεικνύει και διαμορφώνει φιλοσοφικές απόψεις και τάσεις.

Η φιλοσοφική εμβέλεια της φυσικής, η αναγνώρισή της ως κρίσιμου συνδιαμορφωτικού στοιχείου μίας φιλοσοφικής θεώρησης του κόσμου, αντανακλάται στην καθιέρωση της Φιλοσοφίας της Φυσικής ως αυτόνομου γνωστικού πεδίου. Η ελκυστικότητα όπως και σημαντικότητα της φιλοσοφίας της φυσικής συναντάται ως πρόσκληση συμμετοχής στο πρωταρχικό φιλοσοφικό ερώτημα, το κοσμολογικό ερώτημα, δηλαδή την προσπάθεια κατανόησης του κόσμου και της θέσης μας σε αυτόν ως γνωστικών όντων. Τούτο επιχειρείται στη φιλοσοφία της φυσικής κυρίως μέσω της διερεύνησης των εννοιολογικών θεμελίων της φυσικής επιστήμης, της ανάλυσης των φιλοσοφικών προεκτάσεών της, όπως και της συγκρότησης της οντολογικής της βάσης, δηλαδή της συγκρότησης μίας συνεπούς και συνεκτικής εικόνας της πραγματικότητας η οποία εναρμονίζεται με το ουσιώδες περιεχόμενο των σύγχρονων φυσικών θεωριών. Εάν, για παράδειγμα, οι δύο θεμελιώδεις θεωρίες της φυσικής, η θεωρία της σχετικότητας και η κβαντική μηχανική, συλλαμβάνουν τρόπους ύπαρξης του φυσικού κόσμου, το ερώτημα που ανακύπτει είναι: ποια τα βασικά χαρακτηριστικά της πραγματικότητας σύμφωνα με αυτές τις θεωρίες;

Φυσική και φιλοσοφία αδιάλειπτα μοιράζονται ένα κοινό σημείο αναφοράς, την «πραγματικότητα», όσο διαφορετικοί και αν είναι οι τρόποι πρόσβασης σε αυτήν. Η ανάπτυξη της φυσικής, βεβαίως, ή της επιστήμης γενικότερα, με χρονικό ορόσημο τη νευτώνεια φυσική, σταδιακά οδήγησε στη διάρρηξη των στενών δεσμών της επιστήμης με τη φιλοσοφία, υποχρεώνοντας την τελευταία να προσαρμοστεί προς τα δεδομένα της, καθώς είναι αδύνατον γι' αυτή να ανακατασκευάσει την επιστήμη υπό τους όρους της. Το είδος της φιλοσοφικής μεθόδου διά της

οποίας επιχειρείται μια a priori ανάλυση του κόσμου και η εξ αυτής συναγωγή συμπερασμάτων καθολικής ισχύος ως προς το κοσμικό γίγνεσθαι, μη λαμβάνοντας υπόψη πορίσματα θεμελιωδών επιστημονικών θεωριών, πολύ συχνά έχει περιέλθει σε αμηχανία λόγω των αποκαλύψεων της επιστήμης.

Το παραδοσιακό φιλοσοφικό πεδίο στοχασμού σχετικά με τη φύση των εννοιών του χώρου και του χρόνου, του φυσικού νόμου, της αιτιότητας και αιτιοκρατίας, της αντικειμενικότητας και των εκφάνσεών της έχει συστηματικά οριοθετηθεί και διαφωτιστεί μέσω των ριζοσπαστικών εξελίξεων στη σύγχρονη φυσική επιστήμη. Η σύγχρονη φυσική έχει προσφέρει καινοτόμες προσεγγίσεις ως προς τη φύση της πραγματικότητας, τη δυνατότητά μας να την καταστήσουμε γνωστή και την ικανότητά μας να διαμορφώσουμε ένα επεξηγηματικό σχήμα γι' αυτήν. Κατ' αυτόν τον τρόπο η φιλοσοφία, όσον αφορά την επιστημολογική και οντολογική συνιστώσα της, οφείλει να εμπλουτίζεται από τα πορίσματα της σύγχρονης επιστήμης, συμπεριλαμβανομένης της θεμελιώδους φυσικής.

Από την άλλη πλευρά ο φιλοσοφικός στοχασμός συμμετέχει στη διαμόρφωση της σύγχρονης επιστήμης κυρίως μέσω της κριτικής γνωσιολογικής προσέγγισης. Η διατύπωση επιστημονικών θεωριών ή επιμέρους μοντέλων δεν αποτελεί προϊόν εκλογικευμένων επαγωγικών γενικεύσεων, εκκινώντας από ένα συστηματικά οργανωμένο και ταξινομημένο σύνολο εμπειρικών/πειραματικών δεδομένων. Η αναζήτηση συλλογιστικών καθώς και μεθοδολογικών κανόνων που επιτρέπουν τη μετάβαση από ένα σύνολο δεδομένων στην παραγωγή γενικευμένων υποθέσεων και αξιωματικά θεμελιωμένων θεωριών (ελεύθερων από εσωτερικές αντιφάσεις) αποτελεί κατά παράδοση ενασχόληση της κοινότητας των φιλοσόφων των ειδικών επιστημών. Σε αυτή την αναζήτηση το έργο του εξειδικευμένου φιλοσόφου της φυσικής δεν διαφοροποιείται ουσιωδώς και είναι συνεργατικό προς το έργο του θεωρητικού φυσικού ή μαθηματικού φυσικού που επικεντρώνεται στη μελέτη των θεμελίων φυσικών θεωριών.

Είναι αξιοσημείωτο ότι κατά την εννοιολογική διερεύνηση των θεμελίων της σύγχρονης φυσικής συναντάται πληθώρα, συχνά αντιμαχόμενων μεταξύ τους, προσεγγίσεων όσον αφορά ένα κοινό επιστημονικό πεδίο. Τούτο φανερώνει ότι η φυσική, όπως και κάθε επιστήμη, δεν συντελείται σε τόπο κενό, απόμακρο από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Η φυσική επιστήμη δεν είναι φιλοσοφικά αμέτοχη ή ουδέτερη. Η ερμηνεία μίας φυσικής θεωρίας δεν προσδιορίζεται κατά τρόπο μονοσήμαντο από τον φορμαλισμό ή τη μαθηματική διατύπωσή της. Ούτε αποτελεί ευθύγραμμη επέκταση της εμπειρικής βάσης στην οποία αναφέρεται. Ένα και το αυτό σύνολο εμπειρικών δεδομένων που εμπίπτει στην εμβέλεια μίας επιστημονικής θεωρίας δύναται να εξηγηθεί μέσω ενός αριθμού εναλλακτικών ανταγωνιστικών προσεγγίσεων, οι οποίες, μολονότι εμπειρικώς ισοδύναμες, ωστόσο στο οντολογικό επίπεδο προβάλλουν σημαντικά διαφορετικές αποτυπώσεις συγκρότησης του κόσμου (βλ. §12.6, στην περίπτωση της κβαντικής μηχανικής). Τούτο

το φαινόμενο, που αποτελεί εσωτερικό στοιχείο της εξέλιξης των επιστημών, είναι γνωστό στη φιλοσοφία της επιστήμης ως «υποκαθορισμός της θεωρίας από τα δεδομένα» (*underdetermination of theory by data*).

Η πολλαπλότητα των ερμηνειών που επιδέχεται μια επιστημονική θεωρία δεν ανάγεται πλήρως σε στοιχεία εγγενή της θεωρίας, αλλά η προέλευσή τους πρέπει να αναζητηθεί σε μηχανισμούς αλληλεπίδρασης μεταξύ του επιστημονικού περιεχομένου της θεωρίας και παραγόντων εξωτερικών αυτού, κυρίως πολιτισμικής, ιδεολογικής ή γενικότερα φιλοσοφικής υφής. Ως εκ τούτου, η φυσική επιστήμη όχι μόνο συναρτάται με τη φιλοσοφία, αλλά προϋποθέτει τη φιλοσοφία, όπως και δημιουργεί φιλοσοφία. Η μακρόχρονη διαμάχη, φερειπείν, μεταξύ των Einstein και Bohr για τη θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας –η οποία αναγνωρίζεται ως ανάλογης ιστορικής σημασίας με τη διαμάχη των Newton και Leibnitz για τη φύση του χώρου και του χρόνου– ήταν πρωτίστως αντιπαράθεση εννοιολογικής, φιλοσοφικής και κανονιστικής φύσεως όσον αφορά τον χαρακτήρα και τη συγκρότηση της φυσικής επιστήμης.[1] Ας τονιστεί, ωστόσο, ότι η φυσική επιστήμη, πέραν των εξωτερικών επιρροών που δέχεται κατά τη διαμόρφωση μίας νέας θεωρίας, διαθέτει εσωτερική λειτουργία αυτοαξιολόγησης και κριτικού ελέγχου, η οποία, εκτός από την πειραματική διαδικασία, περιλαμβάνει φερειπείν τον έλεγχο της νέας θεωρίας ως προς το είδος των συσχετίσεών της με ήδη υπάρχουσες συναφείς θεωρίες –υπό τη θεώρηση κατάλληλων ορίων εφαρμογής–, τη συμβατότητά της με θεμελιώδεις αρχές συμμετρίας και αντίστοιχων νόμων διατήρησης (π.χ., της ορμής, της ενέργειας, της στροφορμής), την επιδεκτικότητά της προς σχετικιστική διατύπωση και λοιπές διεργασίες κρίσης.

Η εξέλιξη των ιδεών στη φυσική επιστήμη φανερώνει ότι η δημιουργία καινοτόμων θεωριών, όπως, λόγου χάριν, της ειδικής και της γενικής θεωρίας της σχετικότητας, οφείλεται πρωτίστως στην κριτική εξέταση κοινώς παραδεκτών, υποτιθέμενα αδιαμφισβήτητων εννοιών και τη συνακόλουθη υποβολή τους στη βάσανο της πειραματικής διερεύνησης. Έννοιες όπως αυτή της απόλυτης ταυτοχρονίας ή της εξ αποστάσεως δράσης ενσωματώθηκαν στο εσωτερικό της δομής της κλασικής φυσικής ως εν πολλοίς αυτονόητες, μολονότι δεν απολάμβαναν την υποστήριξη της πειραματικής επικύρωσης ή άλλων δομικών θεωρητικών στοιχείων. Η μη δυνατότητα ενός νευτώνειου αδρανειακού παρατηρητή να αναπαραγάγει, υπό ισοδύναμες κινηματικές συνθήκες, τους νόμους της μηχανικής και του ηλεκτρομαγνητισμού αποτέλεσε το θεωρητικό κίνητρο του Einstein για την καταρχήν σύλληψη και συγκρότηση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας. Ας μην εκπλαγούμε, λοιπόν, όσον αφορά την αντιμετώπιση θεμελιωδών προβλημάτων στη σημερινή φυσική, όταν διαπιστώσουμε ότι «[π]ίσω από όλα αυτά βρίσκεται σίγουρα μια ιδέα τόσο απλή, τόσο όμορφη, τόσο αποτελεσματική που, όταν την αντιληφθούμε –σε

1. Κατά τη ρήση του Einstein, «ο φυσικός είναι φιλόσοφος με ρούχα εργασίας».

δέκα, εκατό ή χίλια χρόνια– θα πούμε ο ένας στον άλλο πώς θα μπορούσε να ήταν αλλιώς;» (Wheeler [1986, 304]).

Η ανάπτυξη της κβαντικής μηχανικής αποτέλεσε επίσης προϊόν ρηξικέλευθων ρήξεων με παραδεδομένες απόψεις όσον αφορά τη σχέση μεταξύ της γνώσης μας για τον κόσμο και της δυνατότητας αναπαράστασής του. Λόγω του καινοτόμου φαινομένου της *κβαντικής σύμπλεξης* (*quantum entanglement*), στο πεδίο της κβαντικής θεωρίας τίθεται σε αμφισβήτηση ακόμη και η βιωσιμότητα της συνήθους έννοιας της αιτιακής σύνδεσης μεταξύ απομακρυσμένων συσχετιζόμενων γεγονότων. Η παρούσα δομή της κβαντικής θεωρίας, η ικανοποιητική κατανόηση του θεμελιακού της πλαισίου, όπως και η αρμονική της συνύπαρξη με τη γενική θεωρία της σχετικότητας, αποδίδοντας μια συνεπή και εμπειρικά γόνιμη κβαντική θεωρία της βαρύτητας, καλούν προς μια εκ νέου εννοιολογική αναθεώρηση, εφάμιλλη μίας φιλοσοφικής διερεύνησης του ίδιου του νοήματος των εννοιών, του χρόνου, του χώρου, του σημείου, του αντικειμένου, του συνεχούς, της φυσικής διαδικασίας, της αιτιότητας. Η σύγχρονη θεωρητική φυσική αναδεικνύεται κατ' αυτόν τον τρόπο σε πεδίο αναζητήσεων, όπου ο φιλοσοφικός στοχασμός αποτελεί συνιστώσα της εξέλιξης και προόδου της. Κατά συνέπεια, φυσική και φιλοσοφία συνιστούν δύο ισχυρά αλληλεξαρτημένους τρόπους κατανόησης του κόσμου.

Με δεδομένη τη διαρκή κατάτμηση και πολυδιάσπαση της γνώσης, σε βαθμό ώστε συχνά να καθίσταται δύσκολη, ή και αδύνατη, η επικοινωνία όχι μόνο μεταξύ των διαφορετικών επιστημών, αλλά ακόμη μεταξύ των διαφορετικών εξειδικευμένων κλάδων στους κόλπους κάθε επιστήμης, η φιλοσοφία της φυσικής αναλαμβάνει επιπροσθέτως έναν σημαίνοντα ενοποιητικό ρόλο, παρέχοντας το έδαφος για τη συγκρότηση και κατανόηση του ίδιου του χαρακτήρα της φυσικής επιστήμης, προσβλέποντας ούτως ειπείν σε μια συνολικότερη θεώρηση της γνώσης.

*

Το παρόν έργο διαρθρώνεται σε δύο κύρια μέρη, τη Φιλοσοφία του Χώρου και του Χρόνου και τη Φιλοσοφία της Κβαντικής Μηχανικής. Αμφότερα κατέχουν εξέχουσα θέση στη Φιλοσοφία της Φυσικής του 21ου αιώνα.

Ι. Φιλοσοφία Χώρου και Χρόνου

Η διερεύνηση των εννοιών του χώρου και του χρόνου αναπόφευκτα διαπλέκεται με το γενικότερο πρόβλημα της αντιστοιχίας Λόγου και Φύσης. Τα ερωτήματα που ανακύπτουν –επιστημονικής, γνωσιοθεωρητικής, όπως και οντολογικής υφής– είναι πολλαπλά. Ο χώρος και ο χρόνος αποτελούν αυθύπαρκτες, αυτόνομες οντότητες ή δύνανται να εκληφθούν μόνο ως ένα σύνολο διατάξεων, ως ένα σύστημα σχέσεων, ανάμεσα στα υλικά αντικείμενα; Είναι ο χώρος και ο χρόνος υποκειμενικές κατηγορίες, ιδεατά σχήματα για την οργάνωση της εμπειρίας ή συνιστούν κατη-

γορίες του όντος, εξατομικευμένες μορφές του υπαρκτού; Είναι οι σχετικές αντιλήψεις μας για τον χώρο και τον χρόνο επιστημονικές αφαιρέσεις αντικειμενικών χαρακτηριστικών της φυσικής πραγματικότητας, ικανών να διαπιστωθούν μέσω της παρατηρησιακής και πειραματικής διαδικασίας, ή χώρος και χρόνος αποτελούν προεμπειρικούς τύπους της εποπτείας, νοητικές συνθήκες που απαιτούνται κατά τρόπο αναγκαίο για την οργάνωση και κατανόηση της δυνατής εμπειρίας;

Ακόμη, είναι ο χώρος άπειρος; Έχει ο χρόνος αρχή και τέλος; Προηγείται ο χρόνος της ύπαρξης ή δημιουργήθηκε ταυτόχρονα με την ύλη; Ο χώρος και ο χρόνος είναι πλήρως ετερογενείς και μη αλληλεξαρτώμενες οντότητες; Εάν όχι, πώς συνδέονται ο χώρος και ο χρόνος με την κίνηση και την ύλη; Το ερώτημα περί «αληθούς» γεωμετρίας του φυσικού χώρου στερείται νοήματος, σύμφωνα με τη συμβασιοκρατική αντίληψη του Poincaré; Η γεωμετρική περιγραφή του χώρου (ή του χωροχρόνου) αποτελεί θέμα σύμβασης από μέρους μας και όχι γεγονός επιδεκτικό επικύρωσης; Η ύπαρξη του χωροχρόνου είναι αμιγώς μαθηματική ή δύναται να καταστεί και εμπειρική πραγματικότητα; Ποιο το φυσικό περιεχόμενο της έννοιας της σχετικότητας του χώρου και του χρόνου στην ειδική και τη γενική θεωρία της σχετικότητας; Η γενική θεωρία της σχετικότητας σχετικοποιεί πλήρως την κίνηση; Η εμβληματική σχεσιοκρατική πρόταση του Mach είναι συμβατή με τη δομή και τις προβλέψεις της γενικής θεωρίας ως σχετικιστικής θεωρίας της βαρύτητας; Ποιο το καθεστώς μίας αρχής σχετικότητας στη φυσική επιστήμη; Πώς αντανακλάται η διάκριση μεταξύ «καθολικών» και «τοπικών» χωροχρονικών συμμετριών στη συγκρότηση μίας αντίστοιχης αρχής;

Τα ως άνω ερωτήματα προσεγγίζονται συστηματικά μέσω ενός συνδυασμού θεμάτων που αντιστοιχούν στην ιστορία της φυσικής, ιστορία της φιλοσοφίας, φιλοσοφία της επιστήμης και φιλοσοφία της φυσικής, όπως αναπτύσσονται στο εσωτερικό της νεότερης επιστήμης και φιλοσοφίας. Ως εκ τούτου, η θεματολογία περιλαμβάνει στο κεφάλαιο 2 την *απόλυτη* αντίληψη περί χώρου και χρόνου όπως αποτυπώνεται κυρίως στο *magnum opus* του Νεύτωνα, το *Principia Mathematica*. Το έργο του Νεύτωνα αποτελεί ορόσημο στην πορεία ανάπτυξης της επιστημονικής σκέψης εδραιώνοντας τη μαθηματικοποίηση της φυσικής και την πειραματική διαδικασία ως μέθοδο επικύρωσης επιστημονικών υποθέσεων. Διερευνάται επιπλέον η επιστημονική μεθοδολογία του Νεύτωνα, οι κανόνες συλλογισμού της φυσικής του φιλοσοφίας, το γενικό εννοιολογικό υπόβαθρο του νευτώνειου συστήματος της μηχανικής, καθώς και η απορρέουσα ανάπτυξη της μηχανιστικής αντίληψης για τη φύση.

Το κεφάλαιο 3 πραγματεύεται μια εις βάθος ανάλυση της *υπερβατολογικής* θεώρησης του Kant περί χώρου και χρόνου. Μεταξύ των συναφών θεμάτων που αναλύονται περιλαμβάνεται η γνωστική οργάνωση της εμπειρίας, η λειτουργία των κατηγοριών της νόησης, η διάκριση φαινομένων-νοουμένων, η απορρέουσα αναδιάταξη των ορίων οντολογίας και γνωσιολογίας, καθώς και ο συνθετικός a priori

χαρακτήρας της καντιανής θεωρίας της γεωμετρίας. Επιπλέον, εξετάζεται, κατά τη μετα-καντιανή περίοδο, η ανάπτυξη των μη ευκλείδειων γεωμετριών, η αντιδιαστολή των εννοιών του «φυσικού» από τον «μαθηματικό χώρο», το ουσιώδες ερώτημα που αφορά τη δομή του φυσικού χώρου κατά Riemann και οι συνακόλουθες επιδράσεις στην επιστημονική προσέγγιση του χώρου και του χρόνου μέσω της δυναμικής συσχέτισης γεωμετρίας και φυσικής.

Το κεφάλαιο 4 διερευνά τη *σχεσιοκρατική* αντίληψη περί χώρου και χρόνου όπως κυρίως εκφράστηκε από τον Ernst Mach, πρόδρομο της νεότερης θετικιστικής αντίληψης στην επιστήμη. Εξετάζεται, υπό το πρίσμα της φαινομεναλιστικής επιστημονικής του μεθοδολογίας, η αναδιατύπωση της νευτώνειας μηχανικής, συμπεριλαμβανομένης της ρηξικέλευθης κριτικής του έναντι της νευτώνειας απολυτοκρατίας. Αναλύονται επιπλέον οι πρώιμες σχεσιοκρατικές αντιλήψεις των Leibniz και Berkeley για τη φύση του χώρου και του χρόνου.

Τα κεφάλαια 5 και 6 αφορούν τη σύγχρονη *σχετικιστική* αντίληψη περί χώρου και χρόνου υπό τη συστηματική ανάλυση των εννοιολογικών θεμελίων της θεωρίας της σχετικότητας και στις δύο βαθμίδες της, την ειδική και τη γενική θεωρία της σχετικότητας. Η ανάπτυξη της ειδικής θεωρίας αναδεικνύει τα όρια ισχύος του νευτώνειου χωροχρονικού πλαισίου. Υπό τη θεώρησή της, η αρχή του αναλλοίωτου της ταχύτητας διάδοσης του φωτός, καθώς και όλων ανεξαιρέτως των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων, ως προς κάθε αδρανειακό σύστημα αναφοράς, οδηγεί στη συγκρότηση ενός τετραδιάστατου πλαισίου ενότητας του χώρου και του χρόνου, του χωροχρόνου Minkowski. Πλέον, ο χώρος και ο χρόνος απογυμνώνονται από τον απόλυτο και αυτόνομο χαρακτήρα της νευτώνειας αντίληψης. Χώρος και χρόνος συσχετίζονται και σχετικοποιούνται. Έναντι της δημοφιλούς αντίληψης περί γνωσιολογικού σχετικισμού, το ουσιώδες περιεχόμενο της ειδικής θεωρίας πρεσβεύει, αντί της σχετικότητας επιμέρους μεγεθών, το αναλλοίωτο των φυσικών νόμων, δηλαδή την *ανεξαρτησία* του περιεχομένου τους από το υιοθετούμενο σύστημα αναφοράς, διασφαλίζοντας την αντικειμενικότητα της φυσικής περιγραφής.

Κατά τη μετάβαση από την ειδική στη γενική θεωρία της σχετικότητας, χωρόχρονος, κίνηση και ύλη αλληλεπιδρούν. Στη νέα χρονογεωμετρική θεωρία βαρύτητας του Einstein, ο «χώρος» και ο «χρόνος» δεν αποτελούν απλώς συνιστώσες μίας δεδομένης σύνθετης οντότητας, όπως στην περίπτωση του επίπεδου χωροχρόνου Minkowski. Ο τρόπος σύνθεσής τους καθορίζεται πλέον από την κατανομή και την κινητική κατάσταση της ύλης σε κάθε σημείο του τετραδιάστατου χωροχρονικού συνεχούς. Οδηγούμαστε, συνεπώς, σε αντίθεση με το πρότυπο της προσχετικιστικής φυσικής, στη θεώρηση του σύμπαντος ως μίας οργανικής ολότητας, όπου ο χώρος, ο χρόνος, η ύλη και η κίνηση συνδέονται ενδογενώς. Το σύμπαν κατανοείται όχι ως προδιαγεγραμμένος μηχανισμός, αλλά ως ενιαίο και αυτοκαθοριζόμενο όλο σε διαρκή μετάλλαξη και εξέλιξη. Ως αποτέλεσμα, η θεωρία

της σχετικότητας επέφερε καινοτόμο στροφή στον ρου της φυσικής επιστήμης, η οποία είναι σήμερα εν εξελίξει στην προσπάθεια σύνθεσης της γενικής θεωρίας της σχετικότητας με την κβαντική θεωρία της ύλης.

ΙΙ. Φιλοσοφία Κβαντικής Μηχανικής

Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι η θεωρία της σχετικότητας αποτελεί το επιστέγασμα της κλασικής φυσικής. Τροποποιεί την προσχετικιστική κλασική φυσική, γενικεύοντάς την. Επεκτείνει την εφαρμογή της στην περιοχή των «υψηλών ταχυτήτων» (ειδική θεωρία) και των «ισχυρών βαρυτικών πεδίων» (γενική θεωρία), επιφέροντας σημαντικές εννοιολογικές αλλαγές στην αντίληψή μας για τον χώρο και τον χρόνο, τη δομή του φυσικού χώρου, την έννοια της μάζας και της ενέργειας κ.λπ. Μολαταύτα, κατά τη μετάβαση από την προσχετικιστική κλασική φυσική στη θεωρία της σχετικότητας η συνήθης έννοια της αιτιότητας διατηρείται ακέραια. Η αναπαραστατική περιγραφή των κλασικών συστημάτων δεν διαρρηγνύεται, η χρονική εξέλιξη των φυσικών διαδικασιών ακολουθεί το ευρύτερο κλασικό πρότυπο, ούτε αμφισβητείται ο χαρακτήρας της λογικής δομής της κλασικής φυσικής. Η αναθεώρηση των προτύπων της σκέψης στη φυσική επιστήμη συντελείται κατά τη μετάβαση στο «κβαντικό παράδειγμα».

Αδιαμφισβήτητα, η κβαντική μηχανική έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη σύγχρονη επιστημολογία ως πηγή φιλοσοφικού στοχασμού αλλά και ως το σημαντικότερο έως τώρα παράδειγμα μίας «επιστημονικής επανάστασης». Το κβαντομηχανικό υπόδειγμα, ως το θεωρητικό πλαίσιο διερεύνησης του μικρόκοσμου, έχει γεννήσει ερμηνευτικά προβλήματα που αμφισβήτησαν την κλασική φιλοσοφική βάση της επιστήμης, την παραδοσιακά εννοούμενη φύση της πραγματικότητας, την απόλυτη κινηματική ανεξαρτησία μεταξύ γνωρίζοντος υποκειμένου-γνωριζόμενου αντικειμένου, την αναπαραστατική/απεικονιστική περιγραφή των μικροφυσικών συστημάτων, την αναλλοίωτη ταυτότητά τους κατά τη μετρητική διαδικασία, την κλασική αντίληψη της αντικειμενικότητας στηριζόμενη στην υποστασιοκρατική φύση αυτοτελών οντοτήτων, τη λογική δομή Boole της κλασικής μηχανικής, τη συνακόλουθη σημασιολογική αρχή της δισθένειας, τη σχέση των σύνθετων συστημάτων με τα συνιστώντα μέρη τους (δηλαδή, την παραδοσιακή σχέση μέρους-όλου) και ακόμη την καθολική ισχύ των αιτιοκρατικών νόμων, καθώς και τη συνήθη έννοια της αιτιότητας ως επαρκούς επεξηγηματικού μηχανισμού των υπαρκτών συσχετίσεων μεταξύ χωροειδώς διαχωρισμένων κβαντικών συστημάτων.

Η κβαντική μηχανική αποτελεί την πρώτη –και προς το παρόν τη μόνη– μαθηματικώς διατυπωμένη και εμπειρικώς επικυρωμένη επιστημονική θεωρία, η οποία ενσωματώνει ως βασικό της χαρακτηριστικό ότι *το «όλο» δεν είναι πλήρως αναγόμενο ή ισοδύναμο προς το λογικό άθροισμα των «μερών» του, συμπεριλαμβανομένων των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων και χωροχρονικών σχέσεων*. Είναι πράγ-

ματι αξιοσημείωτο ότι *κάθε* σύνθετο μη τετριμμένο κβαντικό σύστημα διακρίνεται από ιδιότητες οι οποίες, ενώ χαρακτηρίζουν το όλο σύστημα, δεν είναι ούτε *αναγώγιμες* προς, ούτε *συναγόμενες* μέσω οποιωνδήποτε δυνατών συνδυασμών των τοπικών ιδιοτήτων των μερών του.

Η ανάπτυξη της κβαντικής μηχανικής έχει τροφοδοτήσει κατ' αυτόν τον τρόπο ένα συναρπαστικό πεδίο επιστημονικών, επιστημολογικών και ευρύτερων φιλοσοφικών θεωρήσεων όπου κατά τον 21ο αιώνα βαίνει ολοένα αυξανόμενο ως προς το ενδιαφέρον του – ιδίως μετά τη γονιμοποιό σχέση του καινοτόμου φαινομένου της *κβαντικής σύμπλεξης* (*quantum entanglement*) με την επιστήμη της πληροφορικής και τη θεωρία των κατηγοριών (*category theory*). Χαρακτηριστικό στοιχείο αυτών των συσχετίσεων η απονομή του Βραβείου Νόμπελ Φυσικής το 2022 στους Alain Aspect (Γαλλία), John Clauser (ΗΠΑ) και Anton Zeilinger (Αυστρία) «για την πραγματοποίηση πειραμάτων με τη χρήση σύμπλεκτων φωτονίων, εδραιώνοντας την παραβίαση των ανισοτήτων Bell και την πρωτοπόρο προώθηση της κβαντικής πληροφορικής», σύμφωνα με την αιτιολόγηση της επιτροπής Νόμπελ για τη Φυσική.

Το κεφάλαιο 7 εκθέτει τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά της κλασικής θεώρησης του κόσμου, επισημαίνοντας γνωσιολογικές και οντολογικές παραδοχές της συνήθους πρόσληψής της, συνιστώντας, κατά Bachelard, *επιστημολογικό εμπόδιο* (*obstacle épistémologique*) προς τη μετάβαση στη νέα φυσική.

Το κεφάλαιο 8 σκιαγραφεί τους κομβικούς σταθμούς που οδήγησαν στη γέννηση της κβαντικής μηχανικής και τη συνακόλουθη ανατροπή του μηχανιστικού προτύπου. Παρουσιάζει επιπλέον τη μηχανική πινάκων του Heisenberg –την πρώτη λογικά συνεπή και εννοιολογικά αυτόνομη μηχανική των θεμελιωδών κβαντικών διαδικασιών–, όπως και την ιστορικά ανταγωνιστική κυματική μηχανική του Schrödinger, τη μαθηματική ισοδυναμία τους κατά von Neumann, και την πιθανοκρατική ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης από τον Born.

Το κεφάλαιο 9 αναλύει, υπό σύγχρονη οπτική, τις πρόδρομες αρχές της κβαντικής μηχανικής, την αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg και την αρχή συμπληρωματικότητας του Bohr. Διερευνά επίσης διεξοδικά το θεμελιώδες πείραμα των δύο σχισμών, «το μόνο μυστήριο της κβαντομηχανικής», κατά Feynman, αναδεικνύοντας τη λειτουργία κύριων χαρακτηριστικών της κβαντικής θεωρίας.

Τα κεφάλαια 10 και 11 συνθέτουν τη σύγχρονη αξιωματική διατύπωση της κβαντικής μηχανικής. Η ανάπτυξη είναι συμπαγής, παρέχοντας στον αναγνώστη μια καθολική εικόνα της θεμελίωσης της κβαντικής θεωρίας, εισάγοντας επιπροσθέτως μείζονα στοιχεία της κβαντικής λογικής.

Τα κεφάλαια 12 έως 17 πραγματεύονται διεξοδικά τα πλέον κύρια θέματα εννοιολογικής και φιλοσοφικής φύσεως που αφορούν την κβαντική μηχανική καθώς και ερμηνευτικά προβλήματα που απορρέουν από αυτήν. Περιλαμβάνονται, ενδεικτικά, το πρόβλημα της κβαντικής μέτρησης και εναλλακτικές θεωρήσεις του, το

παράδοξο της γάτας του Schrödinger, η ανάλυση του επιχειρήματος EPR (Einstein, Podolsky, Rosen) περί μη πληρότητας της κβαντικής θεωρίας, εννοιολογικές και φιλοσοφικές προεκτάσεις της παραβίασης των ανισοτήτων Bell, η θεμελιώδης συνιστώσα της πειραματικής διερεύνησής τους, το φυσικό περιεχόμενο της παραβίασης της τοπικής αιτιότητας, η διάρρηξη της αρχής του κοινού αιτίου κατά Reichenbach, το καινοτόμο φαινόμενο της κβαντικής σύμπλεξης και απορρέουσες ολιστικές εκφάνσεις στη μικροφυσική, το EPR-αντεπιχείρημα των Greenberger-Horne-Zeilinger (GHZ) στη βάση σύμπλεκτων κβαντικών συστημάτων, η πολυσήμαντη έννοια της πλαισιακότητας (*contextuality*), η οντολογική διάσταση της δυνητικότητας ή δυνάμει ύπαρξης στην κβαντική φυσική, η πτώση της χιουμιανής επιγένεσης (*Humean supervenience*) υπό το πρίσμα της κβαντικής θεωρίας, η εδραίωση μη αναγώγιμων σχέσεων του «όλου» έναντι των «μερών» του θέτοντας όρια ως προς παραδοσιακές αναγωγιστικές θέσεις, καθώς και η συνεπαγόμενη ερμηνευτική αναγκαιότητα προς μια οντολογία των σχέσεων.

Το κεφάλαιο 18 διερευνά το μείζον θέμα της συσχέτισης μορφών ρεαλισμού και κβαντικής θεωρίας. Σύμφωνα με τον Pauli, πρωτεργάτη της κβαντικής θεωρίας, «η συγκρότηση μίας νέας αντίληψης της πραγματικότητας στη βάση της κβαντικής μηχανικής αποκτά τη διάσταση του πλέον σημαντικού και εξαιρετικά δύσκολου στόχου της εποχής μας» (Επιστολή Pauli στον Fritz, 12.8.1948). Τούτο επιτυγχάνεται στο ανά χείρας βιβλίο με την υιοθέτηση και συνδιαμόρφωση του σύγχρονου επιστημονικού προοπτικισμού, ο οποίος αναδύθηκε τον 21ο αιώνα ως φιλοσοφική θεώρηση στην επιστημολογία και τη φιλοσοφία της επιστήμης. Το ευρύτερο ουσιώδες χαρακτηριστικό του επιστημονικού προοπτικισμού στην εδώ προτεινόμενη προσέγγιση έγκειται στην απόπειρα ενεργού συσχέτισης της φιλοσοφίας με τη ζώσα επιστήμη στο μεθοδολογικό, επιστημολογικό και οντολογικό επίπεδο.

Το κεφάλαιο 19 αναπτύσσει την κατηγοριοθεωρητική προσέγγιση της κβαντικής μηχανικής, την πλέον σύγχρονη προσέγγιση της κβαντικής θεωρίας, η οποία προϋποθέτει την εφαρμογή της μαθηματικής θεωρίας των κατηγοριών επί της καθιερωμένης κβαντικής μηχανικής. Πέραν της δυνατότητάς της ως εναλλακτικού τρόπου θεμελίωσης των μαθηματικών έναντι της θεωρίας συνόλων, η θεωρία κατηγοριών είναι κατάλληλα εφοδιασμένη για τη διερεύνηση πολύπλοκων και πολύμορφων συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των ποιοτικών τους μετασχηματισμών. Επιτρέπει, για παράδειγμα, την κατά συστηματικό τρόπο σύγκριση δομών πέραν της ισομορφίας, παρέχοντας κατ' επέκταση τη δυνατότητα *συσχέτισης δομών διαφορετικού είδους*, εν προκειμένω του Boolean-κλασικού και του κβαντικού είδους δομών, υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης σχέσης *κατηγορικής συζυγίας ή αλληλοπροσάρτησης* (*categorical adjunction*). Επιπλέον, η θεωρία κατηγοριών, κατάλληλα εφαρμοζόμενη, διαφωτίζει πλήθος διαχρονικών φιλοσοφικών προβλημάτων αναφορικά με τη φύση των καθολικών ιδιοτήτων και σχέσεων (*universalia*), της αναφοράς και της αλήθειας.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

Φιλοσοφία Χώρου και Χρόνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η απόλυτη αντίληψη περί χώρου και χρόνου

2.1 Η πειραματική φιλοσοφία του Νεύτωνα

Το ΕΡΓΟ ΤΟΥ ΙΣΑΑΚ ΝΕΥΤΩΝΑ (Isaac Newton, 1642-1727) αποτελεί ορόσημο στην πορεία ανάπτυξης της επιστημονικής σκέψης, εδραιώνοντας τη μαθηματικοποίηση της φυσικής και την πειραματική διαδικασία ως μέθοδο επικύρωσης επιστημονικών υποθέσεων. Λειτουργώντας εντός της νεωτερικής περιόδου, άσκησε ανεξίτηλη επίδραση στη σχέση του ανθρώπου ως έλλογου όντος και του κόσμου που επιδιώκει να κατανοήσει. Ο ιδρυτής του *θετικισμού* Αύγουστος Κοντ (August Comte, 1798-1857) στο πολύτομο έργο του *Μαθήματα Θετικής Φιλοσοφίας* αναγνωρίζει τη νευτώνεια μηχανική ως το χρονικό σημείο καμπής κατά τη μετάβαση από τον άκριτο μεταφυσικό συλλογισμό και αποκρυφισμό στην επιστημονική μεθοδολογία. Η εξήγηση των φυσικών φαινομένων δεν αποδίδεται πλέον στη δράση υπερφυσικών όντων ή στην επενέργεια απόκρυφων δυνάμεων, αλλά στην ισχύ νόμων οι οποίοι εκφράζουν ποσοτικές σχέσεις μεταξύ φαινομένων, καταρχήν ελεγχόμενες από την παρατήρηση και το πείραμα, αναδεικνύοντας έτσι την επιστήμη ως την παραδειγματική δραστηριότητα συγκρότησης και συστηματοποίησης της γνώσης.

Το γεγονός που σηματοδοτεί την απαρχή της ώριμης επιστήμης, τη γέννηση εν προκειμένω της κλασικής φυσικής, είναι η δημοσίευση το 1687 των *Μαθηματικών Αρχών της Φυσικής Φιλοσοφίας* (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) του Νεύτωνα, παρέχοντας μια ενοποιημένη θεωρία για τη γενική δομή του φυσικού κόσμου και την κίνηση των υλικών σωμάτων. Η νευτώνεια θεωρία της μηχανικής εξακολουθεί και σήμερα να αναγνωρίζεται ως ένα από τα πλέον θαυμαστά διανοητικά εγχειρήματα στην εξέλιξη των ιδεών στη φυσική, παρά το γεγονός ότι υπερκεράστηκε και καταλλήλως οριοθετήθηκε από τις καινοτόμες εξελίξεις της σύγχρονης φυσικής, δηλαδή της θεωρίας της σχετικότητας και της κβαντικής θεωρίας της ύλης.

Η μεθοδολογική στροφή που εισήγαγε ο Γαλιλαίος (Galileo Galilei, 1564-1642) στην επιστημονική πρακτική –μαθηματικοποίηση της φυσικής και έλεγχος

των προτάσεων μέσω της πειραματικής διαδικασίας– αποκτά με το μνημειώδες έργο των *Principia* (*Αρχές*) οριστικό χαρακτήρα. Η επιστημονική μεθοδολογία του Νεύτωνα απορρίπτει το πρόγραμμα του προγενεστέρου του Καρτέσιου (Descartes, 1596-1650), ο οποίος θεωρούσε αφετηριακό σημείο της παραγωγής επιστημονικών νόμων πρωταρχικές έμφυτες αρχές της νόησης. Ο Νεύτων, αντιθέτως, επανεισάγει την αριστοτελική πρακτική της επαγωγικής-απαγωγικής διαδικασίας, της *μεθόδου ανάλυσης και σύνθεσης*, όπως ο ίδιος χαρακτηριστικά ονόμασε. Στον επίλογο του έργου του αναφορικά με τη φύση του φωτός *Οπτική* (*Opticks*, 1704/2010), θέτοντας τις βάσεις της μεταγενέστερης φυσικής οπτικής, ο Νεύτων συνοψίζει την εν λόγω μέθοδο:

> «Στα μαθηματικά, όπως και στη φυσική φιλοσοφία, η χρήση της μεθόδου της ανάλυσης στη διερεύνηση δύσκολων προβλημάτων οφείλει πάντοτε να προηγείται της μεθόδου της σύνθεσης. Η μέθοδος της ανάλυσης συνίσταται στη διεξαγωγή πειραμάτων και παρατηρήσεων και στην εξ αυτών συναγωγή γενικών συμπερασμάτων διά της επαγωγής, καθώς επίσης και στη μη αποδοχή ενστάσεων κατά των συμπερασμάτων αυτών, εκτός εάν οι εν λόγω ενστάσεις προέρχονται από πειράματα ή άλλες αδιαμφισβήτητες βέβαιες αλήθειες. Γιατί εικασίες δεν πρέπει να συμμετέχουν στην πειραματική φιλοσοφία. Και μολονότι η επιχειρηματολογία διά της επαγωγής –μέσω πειραμάτων και παρατηρήσεων– δεν συνιστά απόδειξη γενικών συμπερασμάτων, εντούτοις αποτελεί τον καλύτερο τρόπο παραγωγής επιχειρημάτων ως προς τη φύση των πραγμάτων και δύναται να θεωρηθεί ο ισχυρότερος στον βαθμό που η διαδικασία της επαγωγής γίνεται ολοένα πιο γενική [καλύπτοντας περισσότερες περιπτώσεις]. Εάν ουδεμία εξαίρεση προκύπτει από τα φαινόμενα, το συμπέρασμα διατυπώνεται ως γενικό. Εάν όμως στη συνέχεια υπάρξει οποιαδήποτε εξαίρεση όπως καταγράφεται από διεξαγόμενα πειράματα, το συμπέρασμα πρέπει να διατυπωθεί μαζί με όλες τις προκύπτουσες εξαιρέσεις. Βάσει αυτής της διαδικασίας της ανάλυσης προχωρούμε από τα σύνθετα σώματα στα συστατικά τους και από τις κινήσεις στις δυνάμεις που τις προκαλούν, και εν γένει από τα αποτελέσματα στις αιτίες τους και από επιμέρους αιτίες σε πιο γενικές, έως το επιχείρημα λάβει την πλέον γενική μορφή. Αυτή είναι η μέθοδος της ανάλυσης. Και η σύνθεση συνίσταται στην αποδοχή θεμελιωμένων αρχών στη βάση αιτίων, και μέσω αυτών στην εξήγηση των φαινομένων και στην απόδειξη των εξηγήσεων» [*Opticks*, *405*].

Η επιστημονική μεθοδολογία του Νεύτωνα θέτει ως βάση την προτεραιότητα της συστηματικής παρατήρησης έναντι διανοητικών εικασιών αποκομμένων από το φυσικό υπόβαθρο της εμπειρίας. Κατά τον Νεύτωνα, οι μεταφυσικοί στοχασμοί ενδέχεται να καθοδηγούν την ευρετική διαδικασία, στερούνται όμως των μέσων της αποδεικτικής ισχύος μίας επιστημονικής θεωρίας. Ως εκ τούτου, η μέθοδος της ανάλυσης αντιστοιχίζεται στη διαδικασία της επαγωγής. Διαμέσου αυτής στο-

χεύει στη συμπερίληψη ευρύτερου αριθμού ομοειδών φαινομένων υπό τη σκέπη γενικών προτάσεων, η εξηγητική εμβέλεια των οποίων απορρέει από την επαγωγική γενίκευση. Η επαγωγική μέθοδος αναγνωρίζεται από τον Νεύτωνα ως ελλιπής από ορθολογική σκοπιά, καθώς επαγωγικού τύπου συμπεράσματα δεν χαρακτηρίζονται από λογική αναγκαιότητα, κατανοείται όμως ως η ισχυρότερη δυνατή στην πειραματική έρευνα.

Ο Νεύτων εμμένει στην ανάγκη πειραματικού ελέγχου των θεωρητικών ποριστμάτων στα οποία η σύνθεση καταλήγει, υποστηρίζοντας παραλλήλως ότι οι ερμηνείες των φυσικών φαινομένων δεν συνιστούν κατ' ανάγκη τελεσίδικη γνώση της φύσης. Οφείλουν, συνεπώς, να υπόκεινται σε αναθεώρηση στο φως νεότερων αποδεικτικών στοιχείων. Έτσι υψώνει σε ένα νέο επίπεδο εννοιολόγησης το στοιχείο της συστηματοποίησης της επιστημονικής γνώσης. Χαρακτηριστικό αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης ήταν η ενοποίηση της ουράνιας και γήινης μηχανικής –ο διαχωρισμός της οποίας είχε επιβληθεί από την κοσμολογία του Αριστοτέλη– και η συνακόλουθη κατανόηση και ερμηνεία του σύμπαντος ως ενιαίας οντότητας. Οι νόμοι της φυσικής θεωρείται ότι έχουν πλέον ισχύ όχι μόνο στη γήινη σφαίρα, αλλά στο σύνολο του υλικού κόσμου, επιτυγχάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την πρώτη ουσιαστική ενοποίηση στην ιστορική ανάπτυξη της φυσικής επιστήμης.

2.2 Κανόνες συλλογισμού της φυσικής φιλοσοφίας

Στην εισαγωγή του *Βιβλίου ΙΙΙ* των *Principia* με τίτλο «Το Σύστημα του Κόσμου» (The System of the World) ο Νεύτων θέτει τους *Κανόνες Συλλογισμού της Φυσικής Φιλοσοφίας* (*Regulae philosophandi*). Πρόκειται περί κανόνων οι οποίοι δεν συνάγονται μέσω αφαιρετικού συλλογισμού ως προς τις έννοιες του λόγου ή της αλήθειας, αλλά πρωτίστως αντανακλούν καταστατικές αρχές της μεθοδολογίας και πρακτικής που ο ίδιος ακολούθησε ή αποπειράθηκε με τόλμη να ακολουθήσει, κατά τη συγκρότηση και ανάπτυξη του θεωρητικού του συστήματος, αποσκοπώντας στη γονιμότητα της επιστημονικής έρευνας:

Κανόνας Ι

> «Δεν πρέπει να αποδεχόμαστε περισσότερα αίτια για τα φυσικά φαινόμενα πέραν εκείνων που είναι αληθή και επαρκή για την εξήγησή τους».

Κανόνας ΙΙ

> «Ως εκ τούτου, σε φυσικά φαινόμενα του αυτού είδους πρέπει να αποδίδουμε, κατά το δυνατόν, τα αυτά αίτια».

Κανόνας ΙΙΙ

> «Οι ιδιότητες των σωμάτων, οι οποίες δεν επιδέχονται αύξηση ή φθίση κατά βαθμούς, και οι οποίες ανήκουν σε όλα τα σώματα επί των οποίων είναι δυνατόν να

διεξάγουμε πειράματα, πρέπει να θεωρούνται καθολικές ιδιότητες όλων γενικώς των σωμάτων».

Κανόνας IV

«Στην πειραματική φιλοσοφία, προτάσεις οι οποίες συνάγονται από τα φαινόμενα διά της επαγωγής πρέπει να θεωρούνται είτε επακριβώς αληθείς ή προσεγγιστικά αληθείς, ασχέτως οποιωνδήποτε αντίθετων εικασιών, έως ότου λάβουν χώρα άλλα φαινόμενα με τη βοήθεια των οποίων οι εν λόγω προτάσεις είτε καταστούν ακριβέστερες είτε υποβληθούν στην αποδοχή εξαιρέσεων» [*Principia*, *Βιβλίο ΙΙΙ*, *794-96*].

Οι *Κανόνες I* και *II* αφορούν την απόδοση αιτίων σε φυσικά φαινόμενα. Η έννοια του αιτίου κατά Νεύτωνα δεν ακολουθεί ορισμένη προγενέστερη φιλοσοφική παράδοση και κατανοείται είτε υπό την κοινή αντίληψη κατά την οποία το αίτιο ενός γεγονότος είναι ο παράγοντας στον οποίο αποδίδεται η ύπαρξή του είτε, βάσει της έμφασης στον ρόλο της εξήγησης που δίνεται στον *Κανόνα I*, ως αίτιο του γεγονότος αναγνωρίζεται οτιδήποτε συμβάλλει στην εξήγησή του, αποτελώντας χαρακτηριστικό στοιχείο της επιστημονικής του μεθοδολογίας.

Ο *Κανόνας I* εισάγει ένα κριτήριο οικονομίας ή φειδούς παραπέμποντας στο λεγόμενο «ξυράφι» του Ockham, βάσει του οποίου, «οι οντότητες δεν πρέπει να πολλαπλασιάζονται πέρα από το αναγκαίο» (*non sunt multiplicanda entia praeter necessitate*). Κατ' αναλογία, εν είδει οδηγού της φυσικής έρευνας, εάν έχει επιτευχθεί μια ικανή και επαρκής εξήγηση ενός δεδομένου φαινομένου, η περαιτέρω αναζήτηση αιτίων αποτελεί πηγή σύγχυσης καθώς κατά την επίκληση του Νεύτωνα «η φύση δεν κάνει τίποτε μάταια. […] Η φύση είναι απλή και δεν αναλώνεται σε περιττά αίτια» [*Principia, Βιβλίο ΙΙΙ, 794*].

Ο *Κανόνας II* παρουσιάζεται ως άμεση συνέπεια του *Κανόνα I*, προσθέτοντας το αίτημα ότι φυσικά φαινόμενα του αυτού είδους οφείλουν να αντιστοιχούν στο ίδιο είδος αιτίου. Εκ πρώτης όψεως η σκέψη κινείται στον αιτιοκρατικό τρόπο του σκέπτεσθαι που αναδεικνύεται μέσω της νευτώνειας μηχανικής, ωστόσο, κατά τον Νεύτωνα η αναγκαιότητα αυτού του κανόνα εντοπίζεται στη δυνατότητα επέκτασης της επαγωγικής βάσης των φαινομένων, όπως διαφαίνεται στην ανάλυση του επόμενου τρίτου κανόνα.

Ο *Κανόνας ΙΙΙ* αποτελεί το θεμέλιο της κατά Νεύτωνα φυσικής επαγωγής, δηλαδή της διαδικασίας εξαγωγής γενικών νόμων από την εξέταση επιμέρους φαινομένων της φύσης. Συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες ανήκουν σε κάθε σώμα που διερευνούμε στον χώρο πρόσβασής μας «πρέπει να θεωρούνται καθολικές ιδιότητες όλων των σωμάτων εν γένει». Αποτελεί προϋπόθεση ότι οι υπό εξέταση ιδιότητες δεν επιδέχονται αύξηση ή φθίση κατά βαθμούς. Ο Νεύτων ισχυρίστηκε ότι ο νόμος της βαρύτητας «συνάχθηκε μέσω των φαινομένων και γενικεύτηκε διά της μεθόδου της επαγωγής» [*Principia, Βιβλίο ΙΙΙ, 943*]. Ας σκιαγραφήσουμε τον ισχυρισμό του Νεύτωνα προς χάριν των κανόνων της φυσικής του φιλοσοφίας.

Ενώ η βαρυτική ελκτική δύναμη μεταξύ δύο σωμάτων αυξάνει ή φθίνει συναρτήσει της μάζας των σωμάτων και της μεταξύ τους απόστασης, η ιδιότητα ενός υλικού σώματος να υπόκειται σε βαρυτικές δυνάμεις δεν συνιστά ζήτημα βαθμού. Συνεπώς, η εν λόγω ιδιότητα πρέπει να θεωρηθεί καθολική (παγκόσμια) φυσική ιδιότητα εάν διαπιστωθεί ότι ανήκει σε κάθε σώμα στο οποίο είναι δυνατόν να διεξαχθούν αντίστοιχα πειράματα. Στην ενότητα «*Περί Φαινομένων*» στο τρίτο Βιβλίο των *Principia* ο Νεύτων παραθέτει προς αυτόν τον σκοπό λεπτομερή αστρονομικά δεδομένα για τα ουράνια σώματα του ηλιακού συστήματος αναφορικά με τις διαγραφόμενες τροχιές των κύριων πλανητών και των δορυφόρων τους, τις μεταξύ τους αποστάσεις καθώς και τους χρόνους διαδρομής. Με τη χρήση συστηματικών υπολογισμών, ενσωματωμένων στο θεωρητικό του σύστημα της μηχανικής, αποδεικνύει ότι «η δύναμη μέσω της οποίας η Σελήνη διατηρείται στην τροχιά της τείνει προς τη Γη και είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από το κέντρο της Γης» [*Principia, Βιβλίο ΙΙΙ, Πρόταση 3/Θεώρημα 3, 802-803*].

Επομένως, η δύναμη διά της οποίας η Σελήνη διατηρείται στην τροχιά της είναι η ίδια ακριβώς δύναμη που κοινώς ονομάζουμε βαρύτητα και, βάσει της οποίας, σώματα σε ελεύθερη πτώση στην επιφάνεια της Γης έλκονται προς το κέντρο της. Ως εκ τούτου, ο Νεύτων συμπεραίνει ότι οι ασκούμενες βαρυτικές δυνάμεις επί πλανητών, δορυφόρων, και σωμάτων σε ελεύθερη πτώση αποτελούν φαινόμενα «του αυτού είδους» και πρέπει επομένως, μέσω του *Κανόνα ΙΙ*, να έχουν «το αυτό αίτιο», δηλαδή τη βαρύτητα (την αναπτυσσόμενη κεντρική δύναμη λόγω της βαρυτικής μάζας των σωμάτων). Εφόσον αυτό το φαινόμενο είναι κοινό σε όλα τα σώματα που είναι δυνατόν να υποβληθούν σε πειραματική διερεύνηση, «οφείλουμε να συμπεράνουμε μέσω του *Κανόνα ΙΙΙ* ότι όλα τα σώματα ασκούν μεταξύ τους βαρυτική δύναμη» [*Principia, Βιβλίο ΙΙΙ, 796*]. Πρόκειται ίσως για την πλέον χαρακτηριστική περίπτωση των τολμηρών βημάτων που ακολούθησε ο Νεύτων στο επιστημονικό του εγχείρημα ώστε να συναγάγει τη γενική υπόθεση ότι η φύση της βαρυτικής δύναμης είναι η αυτή για το σύνολο της κοσμικής ύλης που ενοικεί στο σύμπαν.

Ο *Κανόνας IV* εισήχθη στην τρίτη έκδοση των *Principia* και σκοπός του είναι η ανάδειξη της υπεροχής της επαγωγικής μεθόδου έναντι ανεπικύρωτων εικασιών. Ας σημειωθεί κατ' αρχάς ότι μια επαγωγικά θεμελιωμένη αρχή, όσο ευρεία κι αν είναι η εμπειρική βάση στην οποία στηρίζεται, υπερβαίνει πάντοτε το παρατηρησιακό της υπόβαθρο καθώς ο επαγωγικός συλλογισμός είναι ενισχυτικός, κινείται από επιμέρους παρατηρησιακά δεδομένα στη γενίκευση αυτού του συνόλου δεδομένων, παρατηρημένων ή μη. Η προσθήκη, συνεπώς, νέων αρνητικών πειραματικών ευρημάτων είναι δυνατόν να υπονομεύσει πλήρως ένα ισχυρό επαγωγικό συμπέρασμα. Ο επαγωγικός συλλογισμός δεν διασφαλίζει κατ' αναγκαίο τρόπο την αλήθεια κατά τη μετάβαση από προκείμενες παρατηρησιακές προτάσεις στην επαγωγική γενίκευση. Εξ αυτού του λόγου ο Νεύτων επιμένει ότι επαγωγικής φύσεως αρχές είναι «επακριβώς αληθείς ή προσεγγιστικά αληθείς» έως ότου νέα φαι-

νόμενα υποδείξουν την αναθεώρησή τους. Σε αντίθεση με το αίτημα του Καρτέσιου περί απόλυτης διασφάλισης της αλήθειας, υπό το οποίο η φυσική θα ήταν θνησιγενής, ο Νεύτων αναγνωρίζει ότι οι καταστατικές του αρχές δεν έχουν ως σκοπό την πλήρωση της άχρονης αλήθειας, αλλά τη συγκρότηση καθοδηγητικών κανόνων για τη συνέχιση της έρευνας.

2.3 Η σύνθεση των *Principia Mathematica*

Το μνημειώδες έργο των *Principia* διασφαλίζει αναμφίβολα στον Νεύτωνα εξέχουσα θέση στην ιστορία της επιστήμης. Πρόκειται περί μίας πραγματείας της μηχανικής, διατυπωμένης κατά την τυπολογία των *Στοιχείων* του Ευκλείδη. Προηγούνται οι ορισμοί εννοιών, η διατύπωση υποθέσεων και αξιωμάτων που θα χρησιμοποιηθούν, και ακολουθούν λήμματα, προτάσεις, θεωρήματα και αποδείξεις αυτών, μέσω περίτεχνων γεωμετρικών κατασκευών. Κατά την αντίληψη του Νεύτωνα, η γεωμετρία είναι «μέρος της *παγκόσμιας μηχανικής* (*universal mechanics*) καταδεικνύοντας την τέχνη της μέτρησης μέσω ακριβών προτάσεων και αποδείξεων». Σκοπός του, όπως ο ίδιος αναφέρει στον *Πρόλογο* της πρώτης έκδοσης των *Principia*, είναι η ενοποίηση των κλάδων της γεωμετρίας και της μηχανικής, «και για τούτο παρουσιάζουμε το παρόν έργο ως μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας. Γιατί όλη η δυσκολία της φιλοσοφίας φαίνεται ότι συνίσταται στο εξής: από τα φαινόμενα των κινήσεων να διερευνήσει τις δυνάμεις της φύσης και κατόπιν από αυτές τις δυνάμεις να αποδείξει τα άλλα φαινόμενα» [*Principia, Πρόλογος, 382*].

Το οικοδόμημα της νευτώνειας θεωρίας της μηχανικής συγκροτούν τα τρία «αξιώματα» ή «νόμοι της κίνησης», οι οποίοι διέπουν τη συμπεριφορά όλων ανεξαιρέτως των υλικών σωμάτων στο σύμπαν: η *αρχή της αδράνειας*, ο *θεμελιώδης νόμος της κίνησης* και ο *νόμος δράσης-αντίδρασης*. Διατυπώνονται από τον Νεύτωνα, αντιστοίχως, ως ακολούθως:

Νόμος I

> «Κάθε σώμα συνεχίζει να ηρεμεί ή να κινείται ευθύγραμμα και ομαλά, εκτός εάν υποχρεωθεί να μεταβάλει την κατάστασή του εξαιτίας ασκούμενων επ' αυτού δυνάμεων».

Νόμος II

> «Η μεταβολή της κίνησης είναι ανάλογη προς την ασκούμενη κινητήρια δύναμη (motive force) και συμβαίνει κατά την κατεύθυνση της ευθείας στην οποία δρα η ως άνω δύναμη».

Νόμος III

> «Σε κάθε δράση αντιτίθεται πάντοτε ίσου μεγέθους αντίδραση. Ή, οι αμοιβαίες δράσεις δύο σωμάτων, του ενός επί του άλλου, είναι πάντοτε ίσου μεγέθους και αντίθετης φοράς» [*Principia*, *Βιβλίο I*, *416-17*].