



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

Σπουδές στον Ευρωπαϊκό Πολιτισμό

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ

**Οι Επιστήμες της Φύσης
και του Ανθρώπου στην Ευρώπη**

ΤΟΜΟΣ

**ΚΕΙΜΕΝΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ
ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΠΑΤΡΑ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	14
----------	----

Βύρων Καλδής

I. Ζητήματα Ιστορίας των Επιστημών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ιωάννης Μ. Βανδουλάκης, Κωνσταντίνος Νικολαντωνάκης

Ευρωπαϊκή και μη ευρωπαϊκή επιστήμη	21
-------------------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μανώλης Πατηνιώτης

Νεύτων και Νευτωνισμός στην Ευρώπη του 18ου αιώνα	39
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Παναγιώτης Πεφάνης

Η πορεία της Ιατρικής από το 14ο ως το 17ο αιώνα. Από τη ρήξη με το σχολαστικισμό στη ρήξη με το Γαληνικό πλαίσιο	55
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Χριστίνα Φίλη

Η δημιουργία της αναλυτικής γεωμετρίας	71
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Διονύσης Μεντζενιώτης

Η μαθηματικοποίηση της φύσης	79
------------------------------	----

II. Νέες Προσεγγίσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Πάνος Θεοδώρου

Μια συγκριτική αποτίμηση των συνεισφορών των Kuhn, Lakatos και Feyerabend στη φιλοσοφία της επιστήμης 89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Μιχάλης Ασημακόπουλος

Για την επιστήμη και την τεχνολογία: μια διαδρομή από τον Kuhn στις ΣΕΤ 107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Κυριακούλα Σακορράφου – Κατινάκη

Από την Επιστήμη ως Γνώση στην Επιστήμη ως Πρακτική: Η σημασία του πειράματος στις νέες τάσεις της φιλοσοφίας της επιστήμης 123

III. Τεχνολογία και ενέργεια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Χαράλαμπος Κόκκινος

Τεχνολογία και Τεχνοεπιστήμη. Εισαγωγικά στοιχεία της εξέλιξης μιας αμφίσημης σχέσης 143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Γιάννης Αντωνίου

Θεωρήσεις του τεχνολογικού φαινομένου τον 20ό αιώνα. Από τον τεχνολογικό ντετερμινισμό στις κοινωνικές σπουδές της τεχνολογίας 155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

Αριστοτέλης Τύμπας

Από την «ενέργεια» στην «πληροφορία» και από το «άτομο»

στο «γονίδιο»: η επιστήμη από την ατμομηχανή μέχρι τον υπολογιστή	165
---	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

Φαίδρα Παпанελοπούλου

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας και οι απαρχές της θερμοδυναμικής. Ιστορικά και Ιστοριογραφικά ζητήματα	175
---	-----

IV. Φύλο, θρησκεία, πολιτική, κοινωνικές επιστήμες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

Μαρία Πεντετζή

Φύλο και Επιστήμη	187
-------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

Γιώργος Ν. Βλαχάκης

Από την Εθνική Επιστήμη στην Επιστήμη της Παγκοσμιοποίησης	199
--	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

Μαρία Ζαρίφη, Έλενα Μανιάτη

Φυσικές Επιστήμες και Πολιτιστική Πολιτική στην Ευρώπη του 19ου και 20ού αιώνα	209
--	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16

Ευθύμιος Νικολαΐδης

Επιστήμες και εκκλησία, από την ανατολική στη δυτική παράδοση: η διαμόρφωση της χριστιανικής επιστημονικής σκέψης από τους Πατέρες της εκκλησίας	221
--	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17

Μιχαήλ Σ. Ζουμπουλάκης

Σχεδιάσμα εξέλιξης των κοινωνικών επιστημών	231
---	-----

ΝΕΥΤΩΝ ΚΑΙ ΝΕΥΤΩΝΙΣΜΟΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΤΟΥ 18ου ΑΙΩΝΑ

Μανώλης Πατηνιώτης

2.1 Εισαγωγή

Η νευτώνεια φιλοσοφία καθιερώθηκε με τη δημοσίευση των δυο σημαντικότερων έργων φυσικής φιλοσοφίας του Ισαάκ Νεύτωνα (1642-1727): Των *Μαθηματικών Αρχών της Φυσικής Φιλοσοφίας*, το 1687, και της *Οπτικής*, το 1704. Το πρώτο είναι ένα έργο **Ορθολογικής Μηχανικής**, στο οποίο ο Νεύτων μελετά «τις κινήσεις που προκύπτουν από συγκεκριμένες δυνάμεις και τις δυνάμεις που απαιτούνται για συγκεκριμένες κινήσεις». Βασικός του στόχος είναι να υπερβεί το κυρίαρχο μηχανοκρατικό πρότυπο της εξ επαφής μετάδοσης της κίνησης και να εισαγάγει την έννοια της ελκτικής δύναμης, η οποία δρα από απόσταση και αποτελεί τον κατεξοχήν δυναμικό παράγοντα της κίνησης σε κοσμολογικό επίπεδο. Σε αυτή τη βάση, ερμηνεύει τους νόμους του Kepler (Κέπλερ, 1571-1630) με τη βοήθεια της παγκόσμιας έλξης και απορρίπτει την καρτεσιανή θεωρία των στροβίλων.¹ Το δεύτερο έργο, η *Οπτική*, είναι μια μελέτη στο πνεύμα της μηχανοκρατικής φιλοσοφίας, όπου ο Νεύτων επικεντρώνεται, κυρίως, στη διερεύνηση των οπτικών φαινομένων (ανάκλαση, διάθλαση, ανάλυση του λευκού φωτός κ.λπ.). Εκεί συστηματοποιεί την πειραματική του μέθοδο και επεξεργάζεται το ατομικό πρότυπο της ύλης. Στις επόμενες εκδόσεις του έργου το εμπλουτίζει με ορισμένα «Ερωτήματα», που του δίνουν την ευκαιρία να αναπτύξει τους θεωρητικούς και μεταφυσικούς στοχασμούς του

Ορθολογική Μηχανική: Όπως θα φανεί και στη συνέχεια, ο όρος «Ορθολογική Μηχανική» έχει, κυρίως, ιστορικό περιεχόμενο. Σήμερα μιλάμε για «Κλασική Μηχανική», την οποία αντιδιαστέλλουμε προς τη σχετικιστική και την κβαντική μηχανική του 20ού αιώνα. Όταν το 17ο και το 18ο αιώνα οι φυσικοί φιλόσοφοι μιλούσαν για «Ορθολογική Μηχανική», αναφέρονταν στην εφαρμογή του διαφορικού λογισμού στη μελέτη των κινήσεων των στερεών σωμάτων και των υγρών. Είναι, μάλιστα, σημαντικό να τονιστεί ότι η Ορθολογική Μηχανική εκείνη την εποχή ήταν, ακόμα, κλάδος των Μαθηματικών και όχι της Φυσικής.

¹ Για τους νόμους του Κέπλερ βλ. Π. Βαλλιάνος, *Η Επιστημονική Επανάσταση και η Φιλοσοφική θεωρία της Επιστήμης. Ακμή και Υπέρβαση του Θετικισμού*, ΕΑΠ, Πάτρα 2001: Ενότητα 1.6, «Η Νέα Κοσμολογία. Κοπέρνικος, Τύχων, Κέπλερ». Για την θεωρία των στροβίλων και για την καρτεσιανή μέθοδο γενικότερα, βλ. ό. π.: Ενότητα 5.3, «Η Αυτοτέλεια του Νου και η Μηχανική Συγκρότηση του Φυσικού Κόσμου: Ο Ορθολογικός Ενορατισμός του Καρτέσιου».

γύρω από τη φύση της ύλης, να μελετήσει διεξοδικά τις διάφορες περιπτώσεις ελκτικών και απωστικών δυνάμεων και να εξερευνήσει τα όρια εφαρμογής της πειραματικής επαγωγής.

Η δημοσίευση των *Μαθηματικών Αρχών* σηματοδοτεί την εδραίωση ενός νέου πνεύματος στην ευρωπαϊκή φυσική φιλοσοφία. Είναι, ωστόσο, σαφές ότι οι απόψεις των συγχρόνων του Νεύτωνα για τη σπουδαιότητα του magnum opus του δεν ήταν ομόφωνες. Οπαδοί και υποστηρικτές του όπως ο Edmond Halley (Εντμοντ Χάλεϋ, 1656-1742) και ο Βολταίρος (1694-1778) ήταν τόσο ενθουσιασμένοι με τα επιτεύγματα του Νεύτωνα, που τον τοποθετούσαν στην υψηλότερη θέση του φιλοσοφικού στερεώματος της εποχής του. Την ίδια στιγμή, ωστόσο, ο Christiaan Huygens (Κρίστιαν Χούχενς, 1629-1695) έμενε έκπληκτος από το γεγονός ότι μια τόσο περίτεχνη σύνθεση Μηχανικής βασιζόταν στη διαβόητη έννοια της «δράσης από απόσταση». Σε παρόμοιο πνεύμα, ο Gottfried Wilhelm Leibniz (Γκότφριντ Βίλχελμ Λάιμπνιτς, 1646-1716) κατηγορούσε τον Νεύτωνα ότι μετέτρεψε τη λειτουργία ολόκληρης της Φύσης σε ένα διαρκές θαύμα. Γαλουχημένοι στην καρτεσιανή ορθολογική παράδοση, ο Huygens και ο Leibniz θεωρούν ότι η υιοθέτηση της «δράσης από απόσταση» από τους φυσικούς φιλοσόφους θα επανέφερε στο προσκήνιο τις «απόκρυφες ιδιότητες» του σχολαστικισμού.

Σύμφωνα με τους ιστορικούς, οι *Μαθηματικές Αρχές* είναι ένα από τα λιγότερο μελετημένα —στο σύνολό τους— έργα στην ιστορία των ιδεών. Ακόμη και στις αρχές του 18ου αιώνα, σημαντικοί φιλόσοφοι όπως ο John Locke (Τζον Λοκ, 1632-1704) και ο Βολταίρος υιοθετούν το περιεχόμενο του έργου χωρίς να έχουν διαβάσει ή κατανοήσει το τεχνικό μέρος του. Η φήμη των *Μαθηματικών Αρχών* βασίστηκε κατά κύριο λόγο στην αυθεντία ελάχιστων μελετητών που ήταν σε θέση να αναμετρηθούν με την τεχνική πλευρά τους. Την ίδια στιγμή, ωστόσο, αρκετοί φυσικοί φιλόσοφοι επιχειρούν να μεταφέρουν τη σκέψη του Νεύτωνα στο ευρύτερο αναγνωστικό κοινό και για το σκοπό αυτό συντάσσουν συμπιλήματα, όπου παρουσιάζουν τις γενικές αρχές της πειραματικής φιλοσοφίας ιδωμένες υπό το πρίσμα της νευτώνειας Μηχανικής.

Πολύ μεγαλύτερο υπήρξε το αναγνωστικό κοινό της *Οπτικής* και ο σημαντικότερος λόγος γι' αυτό είναι ότι φαινομενικά ήταν πιο κατανοητή. Η *Οπτική* δεν ήταν επαναστατικό έργο με την έννοια που ήταν οι *Μαθηματικές Αρχές*. Ήταν περισσότερο μια ευφυής επίδειξη της τέχνης του πειράματος και συχνά αποτέλεσε το πρότυπο για την εφαρμογή της πειραματικής μεθόδου και τη διεξαγωγή ακριβών ποσοτικών πειραμάτων. Εκείνο που είναι σημαντικό, λοιπόν, στην *Οπτική* από την άποψη της νευτώνειας σύνθεσης είναι ότι ο Νεύτων παρουσίασε και εφάρμοσε εκεί τον πιο συνεκτικό ορισμό της πειραματικής μεθόδου: «Όπως στα Μαθηματικά, έτσι και στη Φυσική Φιλοσοφία η έρευνα των δύσκολων πραγμάτων με τη μέθοδο της ανάλυσης θα όφειλε πάντοτε να προηγείται της μεθόδου της σύνθεσης. Η ανάλυση αυτή συνίσταται στην πραγματοποίηση πειραμάτων και παρατηρήσεων και στη συναγωγή γενικών συμπερασμάτων από αυτά διά της επαγωγής, καθώς και στην απόρριψη όλων των αντιρρήσεων, εκτός από εκείνες που προκύπτουν από πειράματα ή άλλες βέβαιες αλήθειες. Διότι οι υποθέσεις δεν πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν στην πειραματική φιλοσοφία. [...] Με αυτή τη μέθοδο της ανάλυσης είμαστε σε θέση να προχωρήσουμε από τα σύνθετα πράγματα στα συστατικά τους μέρη και από τις κινήσεις στις δυνάμεις που τις παράγουν· και, γενικότερα, από τα αποτελέσματα στις αιτίες τους και από τις μερικότερες αιτίες στις γενικότερες, μέχρις ότου το επιχείρημα λάβει την πλέον γενική μορφή του.» (*Οπτική*, σ. 404).

Ο νευτωνισμός, ωστόσο, είναι κάτι πολύ περισσότερο από την άμεση επίδραση που άσκησαν τα δύο σημαντικά έργα του Νεύτωνα στην πνευματική ζωή της Ευρώπης. Καταρχάς, αυτό που αποκαλούσαν νευτώνεια φιλοσοφία το 18ο αιώνα δεν ήταν ένα εδραιωμένο σύστημα ούτε μια οριστική σύνθεση. Ήταν περισσότερο ένα πολυσχιδές ρεύμα που προέκυψε από τις ποικίλες ερμηνείες των έργων του Νεύτωνα και, σε σημαντικό βαθμό, από τις προσαρμογές αυτών των έργων σε διάφορα πνευματικά περιβάλλοντα σε ολόκληρη την ευρωπαϊκή ήπειρο. Έπειτα, σε όλη τη διάρκεια του 18ου αιώνα, ο νευτωνισμός αντιπροσώπευε πολύ περισσότερα πράγματα από μια φυσική θεωρία. Ήταν ένα αμάλγαμα επιστημονικών, πολιτικών και θρησκευτικών ιδεών, που μόνο εν μέρει ανάγονταν στα πρωτότυπα έργα του Νεύτωνα. Συχνά οι άνθρωποι που υιοθετούσαν κάποια εκδοχή της νευτώνειας φιλοσοφίας είχαν μια ασαφή εικόνα των μαθηματικών και πειραματικών ερευνών του ίδιου του Νεύτωνα, αλλά κατέφευγαν σε αυτόν προκειμένου να επιλύσουν ζητήματα που αφορούσαν την ανθρώπινη συμπεριφορά, τη λειτουργία του κράτους και τα θρησκευτικά δόγματα. Στη συνέχεια, θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε συνοπτικά ορισμένες από τις σημαντικότερες όψεις του νευτωνισμού, όπως αυτές διαμορφώθηκαν στα ποικίλα πνευματικά περιβάλλοντα που τον υποδέχτηκαν.

Ο Jean Le Rond d'Alembert (Ζαν Λε Ρον ντ' Αλαμπέρ, 1717-1783), ένας από τους πρωταγωνιστές των εξελίξεων που σημάδεψαν την τύχη των ιδεών του Νεύτωνα στη διάρκεια του 18ου αιώνα, γνώριζε καλά την ανεπάρκεια ενός γενικού ορισμού περί νευτωνισμού, όταν έγραφε το σχετικό λήμμα στην *Encyclopédie*. Έτσι, έπειτα από ένα σύντομο περιγραφικό ορισμό προχωρεί στη σκιαγράφηση ενός ευρέος φάσματος εννοιών και πρακτικών που συνέβαλαν στη διαμόρφωση αυτού του πνευματικού ρεύματος. Ορισμένοι συγγραφείς, παρατηρεί, αντιλαμβάνονται τη νευτώνεια φιλοσοφία ως μια εκδοχή της «**φιλοσοφίας του φυσικού σώματος**», εμπλουτισμένης και διορθωμένης από τις ανακαλύψεις του Νεύτωνα. Με αυτή την έννοια, η νευτώνεια φιλοσοφία δεν είναι τίποτε άλλο από μια νέα φιλοσοφία, διαφορετική από την καρτεσιανή, την περιπατητική και τις άλλες αρχαίες φιλοσοφικές παραδόσεις που μελετούν τα φυσικά σώματα.² Άλλοι, πάλι, αντιλαμβάνονται τη νευτώνεια φιλοσοφία ως τη μέθοδο που χρησιμοποιεί ο Νεύτων για να μελετήσει το φυσικό κόσμο. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην εξαγωγή συμπερασμάτων κατευθείαν από τα φαινόμενα, χωρίς προσφυγή σε αστήρικτες εικασίες: εκκινώντας από απλές αρχές και από ένα μικρό αριθμό επιλεγμένων φαινομένων, συνάγουμε τους πρωταρχικούς νόμους της φύσης και, στη συνέχεια, χρησιμοποιούμε αυτούς τους νόμους για να ερμηνεύσουμε και όλα τα άλλα συναφή φαινόμενα. Με αυτή την έννοια, η νευτώνεια φιλοσοφία δεν είναι τίποτε άλλο από «πειραματική φυσική», που δεν έχει τίποτα κοινό με τη στοχαστική [ακραιφνώς θεωρητική και κατά το πλείστον λογοκρατική] φιλοσοφία της φύσης των αρχαίων. Άλλοι, τέλος, αντιλαμβάνονται τη νευτώνεια φιλοσοφία ως τον κλάδο της φιλοσοφίας που εξετάζει με μαθηματικό τρόπο τα φυσικά σώματα και εφαρμόζει τη Γεωμετρία και τη Μηχανική στην επίλυση των αντίστοιχων προβλημάτων. Με αυτή την έννοια, η νευτώνεια φιλοσοφία δεν είναι τίποτε άλλο από «μηχανική και μαθηματική φιλοσοφία».

² Ο όρος «φυσικό σώμα» αποδίδει στα ελληνικά τον ευρέως χρησιμοποιούμενο στη νευτώνεια παράδοση όρο «natural body» και δεν ταυτίζεται απαραίτητως με τον όρο «υλικό σώμα», ο οποίος φέρει συγκεκριμένες φιλοσοφικές συνδηλώσεις.

Επομένως, είναι σαφές ότι για τον d'Alembert και τους συγχρόνους του, ακόμη και στο στενό πεδίο της φυσικής φιλοσοφίας, «νευτωνισμός» σημαίνει τουλάχιστον τρία διαφορετικά πράγματα: μια νέα φιλοσοφία για το φυσικό σώμα, εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης και της σύνθεσης στην πειραματική φιλοσοφία και εδραίωση του ρόλου της Ορθολογικής Μηχανικής στην επίλυση φυσικών προβλημάτων. Και πράγματι, όλες αυτές οι φιλοσοφικές και μαθηματικές παραδόσεις έχουν σχέση με το έργο του Νεύτωνα και χαρακτηρίζουν τις ξεχωριστές ερευνητικές και φιλοσοφικές κατευθύνσεις που απορρέουν από τα διάφορα τμήματα της νευτώνειας σύνθεσης. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε αναλυτικά καθεμιά από αυτές τις παραδόσεις και τον τρόπο με τον οποίο διασταυρώνεται με τις νευτώνειες ιδέες.

2.2 Η φιλοσοφία του φυσικού σώματος

Η φιλοσοφία του φυσικού σώματος ήταν ένας σημαντικός κλάδος της φιλοσοφίας του 18ου αιώνα, που είχε ως αντικείμενο την εξέταση της φύσης των υλικών σωμάτων. Σύμφωνα με την παραδοσιακή καρτεσιανή άποψη, η μόνη ουσιώδης ιδιότητα ενός υλικού σώματος ήταν η έκταση. Το σχήμα, η θέση και η κίνηση ήταν μονάχα «τρόποι ύπαρξης» του εκτατού όντος. Ως εκ τούτου, όλα τα φυσικά φαινόμενα θα μπορούσαν να αναχθούν στις μεταβολές του σχήματος, της σχετικής θέσης και της κίνησης των σωμάτων ή των μερών τους. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης, σύμφωνα με τους υποστηρικτές της καρτεσιανής φιλοσοφίας, ήταν ότι καθιστούσε σαφή τη διάκριση ανάμεσα στον υλικό φορέα των φυσικών φαινομένων και τα θεωρούμενα ως εξωγενή, μη υλικά αίτια της κίνησης. Με αυτό τον τρόπο έγινε δυνατό να απαλλαγούν τα υλικά σώματα από τις διαβόητες «απόκρυφες ιδιότητες», τις οποίες είχαν κληρονομήσει από την Αναγέννηση και από ορισμένες πλευρές της αρχαίας ελληνικής φιλοσοφίας.

Ο νευτωνισμός επιφέρει δύο

Φιλοσοφία του φυσικού σώματος: Με τον όρο «φιλοσοφία του φυσικού σώματος» αποδίδεται ο γαλλικός όρος «philosophie corpusculaire». Όπως και στην περίπτωση της Ορθολογικής Μηχανικής, δεν θα πρέπει να παραβλέπουμε την ιστορική σήμανση τέτοιων εκφράσεων. Με δεδομένη την πολύ μεταγενέστερη εδραίωση της ατομικής θεωρίας, η φυσική ροπή του σημερινού αναγνώστη είναι να συνδέσει τη philosophie corpusculaire με τη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων από τα οποία απαρτίζονται τα φυσικά σώματα. Μολονότι κάτι τέτοιο δεν είναι εντελώς λάθος (μια που η φιλοσοφία του φυσικού σώματος διερευνά και τέτοιου είδους ζητήματα), η σημασία που έχει ο όρος στη διάρκεια του 18ου αιώνα σχετίζεται περισσότερο με τις απόψεις περί φυσικού σώματος που απορρέουν αμέσως ή εμμέσως από την καρτεσιανή φιλοσοφία. Στο σχετικό λήμμα της *Encyclopédie*, στο οποίο παραπέμπει και ο d'Alembert, αναφέρεται ότι η «φυσική των σωμάτων» περιγράφει το σώμα ως μια εκτεταμένη μάζα που δεν έχει καμία ιδιότητα πέραν όσων περικλείονται σ' αυτή την ιδέα, δηλαδή το μέγεθός της συνδυασμένο με τη διαιρετότητα των μερών της. Οι τρόποι ύπαρξης (modes) αυτής της εκτεταμένης οντότητας είναι το σχήμα, η θέση και η κινητική της κατάσταση. Όλα τα φαινόμενα, επομένως, ερμηνεύονται στη βάση των μεταβολών του σχήματος, της κίνησης και της διάταξης των σωμάτων ή των μερών τους.

σημαντικές τροποποιήσεις σε αυτή την άποψη: πρώτον, προβάλλει τη θεολογικής προέλευσης ιδέα ότι είναι καταρχήν αδύνατο να συλλάβει ο άνθρωπος όλες τις ιδιότητες των φυσικών σωμάτων.

Επομένως, όχι μόνο η έκταση δεν είναι η μοναδική ουσιώδης ιδιότητα των υλικών σωμάτων, αλλά και οι λίγες άλλες ιδιότητες που είμαστε σε θέση να γνωρίσουμε δεν είναι παρά ένα υποσύνολο των ιδιοτήτων που ο Θεός έδωσε στα σώματα. Σχεδόν όλοι οι οπαδοί της νευτώνειας φιλοσοφίας αποδέχονταν αυτή τη *βολονταριστική* άποψη περί του θεϊκού σχεδίου και επέμεναν ότι είναι καταστατικώς αδύνατο για τα ανθρώπινα όντα να διαπεράσουν τη βούληση του Θεού και να αποκτήσουν οριστική γνώση της φύσης των υλικών σωμάτων.

Η δεύτερη τροποποίηση έχει να κάνει με την προσθήκη της ελκτικής δύναμης στον κατάλογο των θεμελιωδών χαρακτηριστικών του φυσικού σώματος. Σύμφωνα με τον ορισμό του Petrus van Musschenbroek (Πέτρους βαν Μούσεμπρουκ, 1692-1761), «εκείνα τα πράγματα που βρίσκουμε να υπάρχουν σε όλα τα σώματα, τα ονομάζουμε χαρακτηριστικά τους. [...] Μεταξύ αυτών των χαρακτηριστικών υπάρχουν ορισμένα, τα οποία δεν επιδέχονται αύξηση ή μείωση και άλλα, τα οποία μπορούν να αυξηθούν ή να μειωθούν. Στα πρώτα ανήκουν η έκταση, η στερεότητα, η αδράνεια, η ικανότητα κίνησης, η ικανότητα ηρεμίας και το σχήμα. Στα δεύτερα ανήκουν η βαρύτητα και η ελκτική δύναμη» (Musschenbroek, 1744, σ. 10).

Είναι αλήθεια ότι με την πάροδο του χρόνου αυτή η προσθήκη δημιούργησε διάφορα προβλήματα στους υποστηρικτές της νευτώνειας φιλοσοφίας. Στην πραγματικότητα, ακόμη και στις αρχές του 18ου αιώνα, δεν ήταν σαφές εάν η έλξη ήταν μια εγγενής ενεργητική αρχή της ύλης ή μια δύναμη που μεταδίδεται μηχανικά μέσω μιας *αιθέριας ουσίας*, η οποία διαπερνά όλο το σύμπαν. Όσοι υποστήριζαν την ύπαρξη μιας ελκτικής δύναμης που δρα από απόσταση, κατηγορήθηκαν για επιστροφή στις «απόκρυφες ιδιότητες», οι οποίες είχαν εξοβελιστεί από τη φιλοσοφία χάρη στην καρτεσιανή μηχανοκρατία. Σε σχέση με αυτό το ζήτημα, οι οπαδοί του Νεύτωνα επιχείρησαν να διατυπώσουν μια μετριοπαθή φιλοσοφική θέση υποστηρίζοντας ότι η έλξη ήταν απλώς μια δύναμη άγνωστης προέλευσης, η οποία καθόριζε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υλικών σωμάτων: «Και για να μη σκεφτεί κανείς ότι οι προαναφερόμενες ελκτικές και απωστικές δυνάμεις ανήκουν στις απόκρυφες ιδιότητες μόνο και μόνο επειδή δεν γνωρίζουμε τις αιτίες τους, θα πούμε, μαζί με το μεγάλο Νεύτωνα, ότι δεν θεωρούμε τις αρχές αυτές απόκρυφες ιδιότητες, που υποτίθεται ότι απορρέουν από τη μορφή των πραγμάτων,³ αλλά παγκόσμιους νόμους της φύσης, από τους οποίους προκύπτουν οι ίδιες οι μορφές των πραγμάτων. Διότι τα φαινόμενα της φύσης μας δείχνουν πως αυτές οι αρχές πράγματι υπάρχουν, παρ' όλο που κανείς δεν έχει εξηγήσει ακόμη ποια είναι τα αίτιά τους» ('sGravesande, 1720, σ. 24).

Από καθαρώς φιλοσοφική άποψη, ωστόσο, η ιδέα ότι η έλξη μπορεί να αποτελεί εγγε-

³ Ο όρος «μορφή» χρησιμοποιείται εδώ με την έννοια που έχει στην αριστοτελική φιλοσοφική παράδοση του υλομορφισμού. Κάθε φυσικό σώμα ή κατασκευασμένο πράγμα ή έμβια ύπαρξη είναι, κατά τον Αριστοτέλη, ένας συγκεκριμένος συνδυασμός μορφής και ύλης. Η ύλη αποτελεί το αδρανές υπόβαθρο της συγκεκριμένης υπόστασης και η μορφή την πηγή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και προδιαθέσεων της. Π.χ. η ψυχή αποτελεί τη μορφή του ανθρώπινου όντος ενώ το σώμα αποτελεί το υλικό υπόβαθρό του. Ο συνδυασμός ή η συγκεκριμένη οργάνωση της σύζευξης μορφής και ύλης επιτρέπει σε όλα τα πράγματα να υπάρχουν ως όντα αλλά και να ταξινομούνται σε γένη και είδη. Βλ. και την έννοια «ουσιώδης μορφή».

νή ιδιότητα της ύλης δημιουργεί σημαντικές περιπλοκές. Η ύπαρξη μιας τέτοιας ιδιότητας θα μπορούσε να σημαίνει ότι τα υλικά σώματα διαθέτουν την έμφυτη ικανότητα να «γνωρίζουν» την ύπαρξη άλλων σωμάτων που βρίσκονται σε απόσταση και να ασκούν σε αυτά ελκτικές δυνάμεις που επηρεάζουν την κινητική τους συμπεριφορά. Η συγκεκριμένη ερμηνεία της νευτώνειας δυναμικής προκρίθηκε από ορισμένους υποστηρικτές της φιλοσοφίας του Σπινόζα, όπως ο John Toland (Τζον Τόλαντ, 1670-1722), επειδή πρόσφερε στήριξη στο επιχείρημα ότι η ύλη είναι εγγενώς ενεργή και, ως εκ τούτου, οι φυσικές αλληλεπιδράσεις μπορούν να ερμηνευθούν χωρίς προσφυγή σε υπερφυσικές οντότητες. Αυτή η υλιστική θεώρηση του κόσμου, ωστόσο, έβρισκε αντίθετους τους «ορθόδοξους» νευτώνιους —ανθρώπους κυρίως από το άμεσο περιβάλλον του Νεύτωνα, όπως ο Samuel Clarke (Σάμιουελ Κλαρκ, 1675–1729) και ο Richard Bentley (Ρίτσαρντ Μπέντλεϋ, 1662-1742)— οι οποίοι είχαν συνδέσει τη διάδοση της νευτώνειας φυσικής φιλοσοφίας με την επικύρωση της «ορθής» χριστιανικής πίστης. Ο ίδιος ο Νεύτωνας επιχείρησε συστηματικά να αποσυνδέσει την έννοια της βαρυντικής έλξης από τις αθεϊστικές της συνδηλώσεις. Σε διάφορες επιστολές που αντάλλαξε με στενούς του συνεργάτες φρόντισε να διευκρινίσει ότι η ελκτική δύναμη ως εγγενής ιδιότητα της ύλης δεν προκύπτει *λογικά* από την ίδια τη φύση της ύλης (όπως συμβαίνει με την καρτεσιανή ιδιότητα της έκτασης), αλλά αποτελεί επίκτητο χαρακτηριστικό, όπως το αδιαχώρητο ή η κινητικότητα, με τα οποία ο Θεός, εν τη μεγαλοθυμία του, φρόντισε να εφοδιάσει την ύλη (Henry, 1994).

2.3 Πειραματική φιλοσοφία

Το δεύτερο πεδίο, στο οποίο η συμβολή των ιδεών του Νεύτωνα θεωρήθηκε αποφασιστικής σημασίας, ήταν η «πειραματική φιλοσοφία». Ο Νεύτων εφάρμοσε δύο νέες αρχές σε αυτό το πεδίο. Και οι δύο ήταν απότοκες της μεθοδολογικής προσέγγισης που ανέπτυξε στην *Οπτική* του και στα «Ερωτήματα» που τη συνόδευαν.

Η πρώτη αρχή ήταν ότι ο μόνος ασφαλής τρόπος να συναγάγουμε φυσικούς νόμους από τα φαινόμενα είναι να προχωρούμε επαγωγικά.⁴ Η διατύπωση υποθέσεων δεν έχει καμία θέση σε αυτή τη διαδικασία. Η εμμονή στη συγκεκριμένη μεθοδολογική δέσμευση είναι ο μόνος τρόπος να προστατευθούμε από ερμηνείες που βασίζονται σε «χιμαιρικές» υποθέσεις, όπως για παράδειγμα η υπόθεση των στροβίλων, που χρησιμοποιήθηκε από την καρτεσιανή φιλοσοφία για να ερμηνευθεί ένα τεράστιο εύρος φαινομένων, από την κίνηση των ουράνιων σωμάτων μέχρι τις μαγνητικές ιδιότητες της ύλης. Σύμφωνα με τους ακραίους υπερασπιστές της αναλυτικής μεθόδου, όπως ο Étienne Bonnot de Condillac (Ετιέν Μπονό ντε Κοντιγιάκ, 1714-1780), η ανάλυση είναι η μόνη ορθή μέθοδος συλλογισμού, επειδή τη διδάσκει στους ανθρώπους η ίδια η φύση. Το αποτέλεσμα ήταν να χάσει τη σπουδαιότητά της ακόμη και η σύνθεση: η απόδειξη κάθε πρότασης, σύμφωνα με τον Condillac, πρέπει να ακολουθεί προς τα πίσω το μονοπάτι της ανακάλυψης· και η μόνη κατάλληλη μέθοδος για να γίνει αυτό είναι η ανάλυση και όχι η σύνθεση. Είναι αλήθεια ότι η συζήτηση περί αναλυτικής μεθόδου υπήρξε πηγή σύγχυσης, εφόσον πολλοί οπαδοί του Νεύτωνα και προφανώς και ο ίδιος ο Νεύτων θεωρούσαν ότι η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί με τον ίδιο τρόπο τόσο στα Μαθηματικά όσο και στην πειραματική φιλοσοφία. Όμως, η

⁴ Για το ζήτημα της επαγωγής βλ. Βαλλιάνος, *ό. π.*, Ενότητα 5.2, «Ο Μπέικον και το ιδεώδες της επαγωγής».

αναλυτική μέθοδος που συνδέεται με την πειραματική επαγωγή και οδηγεί στη διατύπωση γενικών προτάσεων δεν είναι ταυτόσημη με την ανάλυση στα μαθηματικά που «ακολουθεί προς τα πίσω το μονοπάτι της ανακάλυψης» προκειμένου να βεβαιώσει την εγκυρότητα μιας ομάδας λύσεων. Από την άλλη πλευρά, η ρητορική της ανάλυσης υπήρξε η επιτομή της αντι-καρτεσιανής στάσης πολλών λογίων του 18ου αιώνα και αποτέλεσε έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους της **φυσικής θεολογίας** της εποχής.

Το δεύτερο στοιχείο που εισήγαγε ο Νεύτων στην πειραματική φιλοσοφία της εποχής του ήταν η αρχή της ποσοτικοποίησης. Μισό αιώνα περίπου μετά την πρώτη έκδοση της *Οπτικής*, ο d'Alembert περιγράφει τα πειράματα ως διαδικασίες που στοχεύουν στη σκόπιμη παραγωγή νέων φαινομένων, προκειμένου να αναγκάσουν τη φύση να αποκαλύψει τις κρυμμένες αρχές της.

Ο άνθρωπος που οδήγησε την πειραματική φιλοσοφία στη σημερινή της κατάσταση ήταν ο Νεύτων, σημειώνει ο d'Alembert. Και το πέτυχε αυτό εισάγοντας τη Γεωμετρία⁵ στη Φυσική και ενοποιώντας την πειραματική πρακτική με τις μαθηματικές τεχνικές. Έτσι, κατόρθωσε να δημιουργήσει μια καινοτόμο επιστήμη που διακρίνεται από ακρίβεια και σχολαστικότητα. Στόχος αυτής της επιστήμης είναι η μελέτη των γενικών ιδιοτήτων των σωμάτων. Η απλή παρατήρηση μπορεί να μας βοηθήσει να συλλάβουμε αυτές τις ιδιότητες επιφανειακά, αλλά μόνο το πείραμα μπορεί να μας τις αποκαλύψει με ακριβή και μετρήσιμο τρόπο. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η διατύπωση γενικών ποσοτικών νόμων, ιδιαίτερα για εκείνα τα φυσικά φαινόμενα, τα οποία επαναλαμβάνονται διαρκώς, χωρίς να είναι εμφανή τα αίτια ή οι αρχές που διέπουν τη διαδοχή τους.⁶ Αυτή η αντίληψη που εκφράζει ο d'Alembert, ωστόσο, αποτελεί και το όριο αποδοχής της

Φυσική θεολογία: Η φυσική θεολογία στοχεύει στην εδραίωση αληθειών ή στην απόκτηση γνώσεων για το Θεό με τη χρήση μόνο των φυσικών γνωστικών ικανοτήτων του ανθρώπου. Σε αντίθεση προς την εξ αποκαλύψεως θεολογία ή πίστη, η φυσική θεολογία (και αντίστοιχα η φυσική θρησκεία — natural religion) βασίζεται σε συλλογιστικές τεχνικές και σε γεγονότα ή αλήθειες που είναι καταρχήν διαθέσιμες σε όλα τα ανθρώπινα όντα, στη βάση του ότι όλοι διαθέτουν λογικό και αισθητηριακή αντίληψη. Ένας αυστηρός ορισμός της φυσικής θεολογίας συνδέει την άσκησή της με τη διατύπωση παραγωγικών επιχειρημάτων που εκκινούν είτε από αυταπόδεικτες αλήθειες είτε από βεβαιότητες που εδραιώνονται στην άμεση αισθητηριακή αντίληψη. Μια πιο ευρεία θεώρηση της φυσικής θεολογίας, ωστόσο, περιλαμβάνει τη διατύπωση όχι μόνο παραγωγικών αλλά και επαγωγικών συλλογισμών, οι οποίοι εκκινούν από προτάσεις που δεν είναι απολύτως προφανείς ή απολύτως βέβαιες. Σε αυτή τη βάση, η φυσική θεολογία συνδέθηκε στενά με τη φυσική φιλοσοφία του 17^{ου} και του 18^{ου} αιώνα. Η φυσική θεολογία είναι αντίθετη με δογματικά συστήματα, τα οποία βασίζονται σε δεδομένα που δεν είναι διαθέσιμα στην ανθρώπινη αντίληψη, όπως η εξ αποκαλύψεως θεολογία, η οποία θεμελιώνεται σε αλήθειες που δεν είναι άμεσα νοητές και έχουν αποκαλυφθεί στον άνθρωπο με υπερφυσικό τρόπο.

⁵ Σημ. Επιμελ.: Για αυτό το ζήτημα, βλέπε στον παρόντα τόμο και το κεφάλαιο 4.

⁶ Σχετικά με αυτό το ζήτημα, βλ. και την άποψη του David Hume (Ντέιβιντ Χιουμ, 1711-1776) για την αιτιότητα. Βαλλιάνος, ό. π.: Ενότητα 5.6, «Ο Εμπειρικός Ιδεαλισμός του Μπέρκλεϋ. Γνωσιολογικός Σκεπτικισμός και Ψυχολογική Ερμηνεία της Αιτιότητας στη Σκέψη του Χιουμ».

νευτώνειας πειραματικής φιλοσοφίας: παρότι η νευτώνεια μέθοδος θεωρήθηκε το κλειδί που θα ξεκλείδωνε τα μυστικά της φύσης, από τη στιγμή που οι θεμελιώδεις νόμοι είχαν γίνει γνωστοί (όπως πίστευαν οι περισσότεροι φιλόσοφοι στα μέσα του 18ου αιώνα) η χρησιμότητα της πειραματικής Φυσικής περιορίστηκε: κάθε περαιτέρω διερεύνηση των φυσικών φαινομένων θα γινόταν στο πλαίσιο του πεδίου των «μαθηματικών επιστημών», δηλαδή, της Ορθολογικής Μηχανικής.

2.4 Ορθολογική Μηχανική

Η Ορθολογική Μηχανική ήταν το τρίτο πεδίο, στο οποίο η νευτώνεια κληρονομιά άσκησε σημαντική επίδραση. Το 17ο αιώνα, ο όρος *Μηχανική* είχε διττή σημασία. Στον πρόλογο των *Μαθηματικών Αρχών* του, ο Νεύτων κάνει σαφή διάκριση μεταξύ της «Πρακτικής Μηχανικής» και της «Ορθολογικής Μηχανικής». Η πρώτη αναφέρεται σε όλες τις χειρωνακτικές τέχνες που οι άνθρωποι ασκούν με διαφορετικό βαθμό ακρίβειας. Η Πρακτική Μηχανική συνδέεται στενά με τη Γεωμετρία, διότι η Γεωμετρία «δεν είναι τίποτε άλλο από εκείνο το τμήμα της καθολικής Μηχανικής που ανάγει την τέχνη της μέτρησης σε ακριβείς προτάσεις και αποδείξεις». Ωστόσο, δεν ήταν αυτό το είδος της Μηχανικής, με το οποίο ήθελε να ασχοληθεί ο Νεύτων. «Αφού οι χειρωνακτικές τέχνες αποσκοπούν κυρίως στο να κάνουν τα σώματα να κινηθούν, η Γεωμετρία χρησιμοποιείται συνήθως σε σχέση με το μέγεθος και η Μηχανική σε σχέση με την κίνηση. Με αυτή την έννοια, η *Ορθολογική Μηχανική* είναι η επιστήμη —εκπεφρασμένη σε ακριβείς προτάσεις και αποδείξεις— των κινήσεων που προκύπτουν από συγκεκριμένες δυνάμεις και των δυνάμεων που απαιτούνται για συγκεκριμένες κινήσεις» (Cohen και Whitman, 1999, σ. 382). Μισό αιώνα μετά τη δημοσίευση των *Μαθηματικών Αρχών*, η Ορθολογική Μηχανική ήταν ένας εδραιωμένος κλάδος της νευτώνειας Φυσικής, ο ορισμός του οποίου περιλάμβανε τρία σημαντικά στοιχεία:

- Η Ορθολογική Μηχανική είναι η μαθηματική μελέτη των κινήσεων που παράγονται από συγκεκριμένες δυνάμεις σε αντίθεση με τη στατική, που μελετά τις δυνάμεις ενός συστήματος που βρίσκεται σε ισορροπία.
- Η μαθηματική ανάλυση που χρησιμοποιείται στην Ορθολογική Μηχανική θα πρέπει να μπορεί να περιγράψει τη γένεση των τροχιών των κινούμενων σωμάτων, σε αντίθεση με τη Γεωμετρία, η οποία επαρκεί μόνο για την περιγραφή στατικών καμπύλων.
- Η σύγχρονη έννοια της Ορθολογικής Μηχανικής είναι προϊόν των *Μαθηματικών Αρχών*, σε αντίθεση με την έννοια της Πρακτικής Μηχανικής, η οποία διαμορφώθηκε κατά τους χρόνους της ελληνιστικής αρχαιότητας.

Η συμβολή του Νεύτωνα στην εδραίωση της σύγχρονης Ορθολογικής Μηχανικής έχει τρεις πλευρές. Πρώτον, εισήγαγε την έννοια της ελκτικής δύναμης που δρα από απόσταση και αποτελεί τον κατεξοχήν δυναμικό παράγοντα της κίνησης. Αυτό το πέτυχε κατασκευάζοντας το μαθηματικό μοντέλο λειτουργίας μιας κεντρομόλου δύναμης που ενεργεί αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από το κέντρο της έλξης. Στη συνέχεια, προσέδωσε σε αυτό το μοντέλο φυσικό περιεχόμενο ενοποιώντας τη γήινη με την ουράνια Φυσική στη βάση της βαρυντικής έλξης (Cohen, 1990· Cohen και Whitman, 1999, Εισαγωγή). Η δεύτερη συμβολή του συνίσταται στην κατάδειξη των ορίων της ευκλείδειας Γεωμετρίας σε ό,τι αφορά τα προβλήματα της κίνησης. Μολονότι κατά τη συγγραφή των

Μαθηματικών Αρχών του στηρίχτηκε σχεδόν αποκλειστικά στην ευκλείδεια Γεωμετρία, οι τροποποιήσεις που επέφερε σε αυτή, καθώς και οι μαθηματικές μελέτες του πάνω στη θεωρία των συναρτήσεων, δηλώνουν την πεποίθησή του ότι η καταλληλότερη μαθηματική μέθοδος για τη μελέτη των προβλημάτων της κίνησης είναι ο απειροστικός λογισμός. Η τρίτη συμβολή του συνίσταται στην ενδελεχή μελέτη της ουράνιας μηχανικής και στην ερμηνεία πολλών ουράνιων φαινομένων με τη βοήθεια του νόμου της παγκόσμιας έλξης.

Παρόλο που η τελευταία συμβολή ενέταξε τον Νεύτωνα στις ηρωικές μορφές του 18ου αιώνα, οι δύο πρώτες δεν είχαν παρόμοιες επιπτώσεις στο φιλοσοφικό του προφίλ. Αναμφίβολα, η νευτώνεια Μηχανική γεφύρωσε το χάσμα μεταξύ Αστρονομίας και Κοσμολογίας, προσφέροντας ένα συνεκτικό φυσικο-μαθηματικό μοντέλο για τη λειτουργία των νόμων του Kepler. Ωστόσο, η οντολογία της ελκτικής δύναμης αποτέλεσε το αγκάθι του νευτωνισμού και υπήρξε αντικείμενο έντονων διενέξεων μεταξύ των επιγόνων του σε όλη τη διάρκεια του 18ου αιώνα. Έτσι, αρκετοί σημαντικοί μαθηματικοί της εποχής, όπως ο d'Alembert και ο Lazare Carnot (Λαζάρ Καρνό, 1753-1823)⁷, επέμεναν ότι η έννοια της δύναμης θα πρέπει να εξοβελιστεί από τη Μηχανική. Άλλοι, όπως ο Johann Bernoulli (Γιόχαν Μπερνούιγ, 1667-1748) και ο Leonard Euler (Λεονάρ Όιλερ, 1707-1783), θεωρούσαν ότι είναι όντως απαραίτητος ένας δυναμικός παράγοντας στη Μηχανική, αλλά την ίδια στιγμή προσπαθούσαν να κρατήσουν αποστάσεις από τις μεταφυσικές συνέπειες μιας υπόθεσης, όπως αυτή της δράσης από απόσταση. Σε κάθε περίπτωση, η βασική επιδίωξη της εποχής ήταν ο μετασχηματισμός της νευτώνειας Μηχανικής, κατά τρόπον ώστε να λειτουργεί αποκλειστικά βάσει των νόμων της κίνησης, χωρίς καμία αναφορά στη φύση της δύναμης. Η διαδικασία αυτή κορυφώθηκε με τη δημοσίευση, το 1788, της *Mécanique Analytique* του Joseph Louis Lagrange (Ζοζέφ Λουί Λαγκράζ 1736-1813). Σε αντίθεση με τη γεωμετρική μέθοδο που χρησιμοποίησε ο Νεύτων στις *Μαθηματικές Αρχές*, ο Lagrange στηρίχθηκε πλέον αποκλειστικά σε αλγεβρικές μεθόδους για τη σύνταξη του έργου του. Ο Lagrange ήταν θαυμαστής του Νεύτωνα, αλλά και μαθητής του d'Alembert. Έτσι, μοιραζόταν με το δάσκαλό του την επιθυμία να αναπτύξει μια νέα επιστήμη της Μηχανικής που δεν θα είχε ανάγκη από τη μεταφυσικά φορτισμένη έννοια της δύναμης. Προκειμένου να το πετύχει αυτό, στηρίχτηκε στην αρχή του d'Alembert, στη λαϊμπνίτεια αρχή διατήρησης της **ζώσας δύναμης**,

Ζώσα δύναμη: Σύμφωνα με τον Leibniz, η ζώσα δύναμη (*vis viva*) είναι η «δύναμη» που έχει ένα σώμα εξαιτίας της κίνησής του και ισούται με το γινόμενο της μάζας επί το τετράγωνο της ταχύτητάς του. Ακριβώς επειδή εξαρτάται από το τετράγωνο της ταχύτητας, η ζώσα δύναμη δεν λαμβάνει ποτέ αρνητικές τιμές γι' αυτό και δεν χάνεται κατά τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωμάτων. Σε αυτή την αξίωση, μάλιστα, βασίστηκε η διαμάχη του Leibniz με τους επιγόνους του Descartes, οι οποίοι υποστήριζαν ότι η «δύναμη» ενός κινούμενου σώματος ισούται με το γινόμενο της μάζας επί την ταχύτητα, με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις κρούσεων να παίρνει μηδενικές ή αρνητικές τιμές. Η ζώσα δύναμη αποτελεί μια εξαιρετικά σημαντική έννοια της λαϊμπνίτειας φιλοσοφίας, γιατί αντιπροσωπεύει μια αρχή διατήρησης που ερμηνεύει τόσο την κινητική συμπεριφορά των φυσικών σωμάτων όσο και τη συνοχή ολόκληρου του σύμπαντος.

⁷ Σημ. Επιμ.: Για αυτό το ζήτημα, βλέπε στον παρόντα τόμο και το κεφάλαιο 12.

καθώς και στην **αρχή της ελάχιστης δράσης**, καμία από τις οποίες δεν απαντά στο έργο του Νεύτωνα. Επιπλέον, εφάρμοσε τη μέθοδό του σε στερεά σώματα και σε συνεχή μέσα, πράγμα που επίσης απείχε σημαντικά από την προσήλωση του Νεύτωνα στην προσπάθεια νομιμοποίησης της σωματιδιακής θεωρίας περί ύλης και της έννοιας της δράσης από απόσταση. Στην πραγματικότητα, ένα μείζον χαρακτηριστικό της νευτώνειας Μηχανικής σε όλη τη διάρκεια του 18ου αιώνα ήταν ότι οι περισσότεροι από αυτούς που συνέβαλαν στην ανάπτυξη της συνδύαξαν την κληρονομιά των *Μαθηματικών Αρχών* με τις φιλοσοφικές και μαθηματικές ιδέες του Leibniz. Είναι, μάλιστα, κάπως ειρωνικό το γεγονός ότι η μεταγραφή της νευτώνειας Μηχανικής στη γλώσσα του απειροστικού λογισμού έγινε στη βάση της μαθηματικής τυποποίησης που πρότεινε ο Leibniz, με τον οποίο ο Νεύτωνας βρισκόταν, ήδη από το 1705, σε **διαμάχη** σχετικά με την προτεραιότητα ανακάλυψης του απειροστικού λογισμού.⁹

Η αρχή της ελάχιστης δράσης: Όπως η αρχή διατήρησης της ζώσας δύναμης, έτσι και η αρχή της ελάχιστης δράσης έχει τις ρίζες της στις θεολογικές ιδέες της απλότητας και της οικονομίας. Αν η ζώσα δύναμη είναι το μέτρο της επιθυμίας του Θεού να διατηρήσει αναλλοίωτη τη συνολική δύναμη, με την οποία εξόπλισε τη Δημιουργία του, η «δράση» είναι το μέτρο της προσπάθειας που καταβάλλει γι' αυτό το σκοπό. Ως τέλειον, ωστόσο, ο Θεός δρα πάντοτε με τον οικονομικότερο τρόπο. Κατά συνέπεια, η δράση που απαιτείται για κάθε κίνηση στο σύμπαν, δηλαδή το γινόμενο που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της μάζας με την ταχύτητα και τη διανυόμενη απόσταση, θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή. Στα μέσα του 18ου αιώνα, ο Maupertuis υποστήριζε ότι η αρχή της ελάχιστης δράσης αποδεικνύει την ύπαρξη του Θεού. Στις αρχές του 19ου αιώνα, ωστόσο, ιδιαίτερα την εικοσαετία 1830-1850, τόσο η ζώσα δύναμη όσο και η ελάχιστη δράση απέκτησαν πιο στενό φυσικό περιεχόμενο. Η πρώτη συνδέθηκε με την αρχή διατήρησης της ενέργειας,⁸ ενώ η δεύτερη αποτέλεσε τη βάση της Αναλυτικής Μηχανικής που αναπτύχθηκε από τον William Rowan Hamilton (Γουίλιαμ Ρόουαν Χάμιλτον, 1805-1865) και τον Carl Gustav Jacob Jacobi (Κάρλ Γκούσταβ Γιάκομπ Γιακόμπι, 1804-1851).

2.5 Γνώση και θρησκεία

Στο φιλοσοφικό επίπεδο, ο νευτωνισμός βρίσκεται στους αντίποδες του καρτεσιανού στοχασμού για τη φύση. Χρειάστηκαν, ωστόσο, πενήντα χρόνια περίπου για να βρει η νευτώνεια θεώρηση τους πρώτους αφοσιωμένους υποστηρικτές της στη Γαλλία. Ο Pierre Louis Moreau de Maupertuis (Πιερ Λουί Μορό ντε Μοπερτουί, 1698-1759) ήταν ο πρώτος που έκανε έκκληση στους συμπατριώτες του να μην απορρίψουν άκριτα την εξηγητική δύναμη της δράσης από απόσταση. Στη συνέχεια, ο Βολταίρος, πεισμένος από τις διαβεβαιώσεις του Maupertuis για την αξία της σύνθεσης του Νεύτωνα, ξεκίνησε μια συστηματική προ-

⁸ Σημ. Επιμ.: Για αυτό το ζήτημα, βλέπε στον παρόντα τόμο και το κεφάλαιο 11 και 12.

⁹ Σημ. Επιμ.: Για αυτό το ζήτημα βλέπε Β. Καλδής, Κεφ. 5 του τόμου *Κείμενα Νεώτερης και Σύγχρονης Φιλοσοφίας*, ΕΠΟ 22, Πάτρα 2008.

Οι διαμάχες με τον Leibniz: Παρά το γεγονός ότι η σημειογραφία που είχαν χρησιμοποιήσει ο Νεύτωνας και ο Leibniz διέφερε σημαντικά, ο καθένας ισχυριζόταν ότι ανακάλυψε πρώτος τον απειροστικό λογισμό, τη νέα αλγεβρική μέθοδο που ήταν κατάλληλη για τη μελέτη των προβλημάτων της Μηχανικής. Σε όλη τη διάρκεια της αντιπαράθεσης, ο Νεύτων προτίμησε να μείνει στα παρασκήνια αναθέτοντας την υπεράσπισή του στον John Keill (Τζον Κέιλ, 1671-1721). Μολονότι ο Leibniz δεν το γνώριζε εκείνη την εποχή, τα κείμενα του Keill περνούσαν πάντοτε από την έγκριση του Νεύτωνα. Σταδιακά η αντιπαράθεση επεκτάθηκε και σε άλλα ζητήματα με πρώτο αυτό της βαρύτητας. Την επίθεση ξεκίνησε ο Leibniz, ο οποίος στα 1710 έγραψε ότι η ιδέα της δράσης από απόσταση που χρησιμοποίησε ο Νεύτων στη Μηχανική του ήταν ξεπερασμένη. Δυο χρόνια αργότερα, χαρακτήρισε τη βαρύτητα «απόκρυφη ιδιότητα» και δήλωσε ότι ο ισχυρισμός πως οι πλανήτες περιστρέφονται χωρίς μηχανική ώθηση σημαίνει ότι το σύμπαν υφίσταται χάρη σε ένα διαρκές θαύμα. Καθώς η αντιπαράθεση άρχισε να στρέφεται σε ζητήματα που άπτονταν της θεολογίας, την αντιπροσώπευση του Νεύτωνα ανέλαβε ο Samuel Clarke, ο οποίος συνδύαζε την καλή γνώση της καρτεσιανής και της νευτώνειας φυσικής με μια ευρεία θεολογική κατάρτιση. Όπως απέδειξαν ο Alexandre Koyré (Αλεξάντρ Κοϋρέ) και ο I. Bernard Cohen (Μπέρναρντ Κοέν), όμως, πίσω από τον Clarke βρισκόταν και πάλι ο Νεύτων, ο οποίος ενέκρινε ή ακόμα και σχεδίαζε τις επιστολές που εκείνος απηύθυνε στον αντίπαλό του. Στα δύο χρόνια που διήρκεσε η συγκεκριμένη αντιπαράθεση (1715-1716) ανταλλάχθηκαν δέκα επιστολές, πέντε από κάθε πλευρά. Τα θέματα που βρέθηκαν στο επίκεντρο της διαμάχης ήταν η φυσική θεολογία, η έννοια του χώρου ως sensorium του Θεού, η παρέμβαση του Θεού στη φυσική αναγκαιότητα, οι έννοιες της βαρύτητας και του κενού, οι αρχές του αποχρώντος λόγου και της ταυτότητας των ομοίων και η οντολογία του χώρου και του χρόνου. Η διαμάχη έληξε με το θάνατο του Leibniz.

σπάθεια να εξοικειώσει το μορφωμένο κοινό της Γαλλίας με τη νέα φυσική φιλοσοφία. Αναπόφευκτα, η προπαγάνδα υπέρ της νευτώνειας φιλοσοφίας έπρεπε να συνοδεύεται από την υπονόμηση της καρτεσιανής παράδοσης. Το γαλλικό κοινό αναγνώριζε πολλά ελαττώματα στη φυσική φιλοσοφία του Descartes, αλλά δεν ήταν καθόλου πρόθυμο να προχωρήσει στην αντικατάστασή της με τη νευτώνεια σύνθεση· θεωρούσε ότι η εξέλιξη της φιλοσοφίας θα διόρθωνε αυτά τα προβλήματα και θα αποκαθιστούσε την πρωτοκαθεδρία της καρτεσιανής παράδοσης. Ο Βολταίρος άρχισε να βάζει κατά της «χιμαιρικής φιλοσοφίας» του Descartes το 1730. Βασικός στόχος της επίθεσής του ήταν να εξασφαλίσει τα πρωτεία στον Νεύτωνα βάσει της ανωτερότητας της αναλυτικής του μεθόδου: ο Νεύτων ήταν ανώτερος από τον Descartes, επειδή υποτίθεται πως οι ανακαλύψεις του ήταν προϊόν συστηματικής επαγωγικής διερεύνησης της φύσης επιβεβαιωμένης από τη Γεωμετρία, ενώ ποτέ δεν παραπλανήθηκε από εικασίες, όπως συνέβη με τον Descartes.

Παράλληλα, ο Βολταίρος διακήρυξε την ανωτερότητα της νευτώνειας θεολογίας έναντι της καρτεσιανής σύλληψης του Θεού, της οποίας ο νοησιαρχικός χαρακτήρας έμοιαζε, εκ πρώτης όψεως, να ταιριάζει καλύτερα στην ατμόσφαιρα του ορθολογικού Διαφωτισμού. Εκείνο που βασικά ενοχλούσε τον Βολταίρο ήταν η τάση πολλών οπαδών της καρτεσιανής παράδοσης να υιοθετούν μια οιονεί αθεϊστική στάση, στο πλαίσιο

της οποίας το σύμπαν δεν ήταν παρά απλό προϊόν της ύλης και της κίνησης. Στη φιλοσοφία του Leibniz, πάλι, το αντίστοιχο αυτής της στάσης ήταν ένα είδος νοησιαρχικού αθεϊσμού, εφόσον η αρχή του αποχρώντος λόγου, όπως την εννοούσε ο Leibniz, περιόριζε ακόμα και τη δράση του ίδιου του Θεού. Ο βολονταρισμός του Νεύτωνα ήταν η αποφασιστική απάντηση σε αυτές τις στάσεις: το σύμπαν δεν είναι προϊόν φυσικής ή λογικής αναγκαιότητας, αλλά αποτέλεσμα της απεριόριστης βούλησης (volition) του Θεού. Και αυτή η βούληση είναι απολύτως αδιαπέραστη από την ανθρώπινη νόηση. Ο εκπεπτωκώς άνθρωπος έχει πρόσβαση μόνο στα αποτελέσματα των επιλογών του Θεού, όπως αυτά αποκαλύπτονται από την τάξη του σύμπαντος και τους νόμους που διέπουν τα φυσικά φαινόμενα.¹⁰

Η ερμηνεία της νευτώνειας φιλοσοφίας από τον Βολταίρο είχε ευρεία απήχηση σε μεγάλο μέρος της ευρωπαϊκής ηπείρου. Η ευνοϊκή στάση απέναντι στη χριστιανική θρησκεία και η εναντίωση στον αριστοτελικό και τον καρτεσιανό δογματισμό, που προκύπτει από τη συγκεκριμένη ερμηνεία, αποτέλεσε πολύτιμο εργαλείο για εκείνους που προωθούσαν τη θρησκευτική ανοχή και τις μετριοπαθείς πολιτικές μεταρρυθμίσεις. Η έρευνα των ορίων της ανθρώπινης γνώσης, που επιχείρησε ο John Locke, λειτούργησε συμπληρωματικά σε αυτή την πλευρά του νευτωνισμού και αποτέλεσε τη βάση ενός πνευματικού ρεύματος που υπερασπιζόταν την ελευθερία της σκέψης σε ποικίλα κοινωνικο-πολιτικά περιβάλλοντα. Υπ' αυτή την έννοια, η πειραματική φιλοσοφία έφτασε να αντιπροσωπεύει πολύ περισσότερα πράγματα από μια επιστημονική μέθοδο. Αποτέλεσε το υπόδειγμα μιας κοινωνικής πρακτικής, η οποία θα επέτρεπε στους πολίτες να αμφισβητούν τις εδραιωμένες αυθεντίες χωρίς να διαταράσσουν την κοινωνική τάξη και να θεσπίζουν παραδειγματικές διαδικασίες κοινωνικής συναίνεσης που εγγυώνται την ανθρώπινη πρόοδο και ευδαιμονία.

2.6 Βιβλιογραφικό επίμετρο

Έχει ειπωθεί ότι, αντί να αναρωτιόμαστε γιατί ένας φυσικός της κλάσης του Νεύτωνα αφιέρωσε τόσο χρόνο στη Θεολογία, θα έπρεπε να αναρωτιόμαστε γιατί ένας θεολόγος της κλάσης του Νεύτωνα αφιέρωσε τόσο χρόνο στη μελέτη της φύσης. Η ιστορική φυσιογνωμία του Νεύτωνα απέχει πάρα πολύ από την εξιδανικευμένη και αναχρονιστική εικόνα του ιδιοφυούς επιστήμονα που συνέλαβε την ιδέα της παγκόσμιας βαρύτητας εξαιτίας ενός μήλου που προσγειώθηκε στο κεφάλι του. Αυτό, όμως, που κάνει ακόμα πιο ενδιαφέρουσα την προσπάθειά μας να ανασυγκροτήσουμε το ιστορικό πρόσωπο του Νεύτωνα και την επίδραση που είχε στη συγκρότηση της σύγχρονης επιστήμης είναι η πολυσημία των ερμηνειών, στις οποίες έχουν καταλήξει οι ιστορικοί.

Στη βιβλιογραφία που ακολουθεί, εκτός από τα δύο βασικά έργα του Νεύτωνα και ορισμένα χαρακτηριστικά έργα των άμεσων επιγόνων του, παρουσιάζουμε μια σειρά εργασι-

¹⁰ Η συγκεκριμένη ερμηνεία εντάσσει τον Νεύτωνα στη γνωσιολογική παράδοση του εμπειρισμού. Ιδιαίτερα τον συνδέει με τον ομοϊδεάτη του Locke αλλά, σε αυτό το σημείο, και με τον George Berkeley (1685-1753) μολονότι ο τελευταίος υπήρξε επικριτικός της νευτώνειας έννοιας του χώρου. Βαλλιάνος, ό. π.: Ενότητα 5.5, «Η Εμπειρική Καταγωγή των Εννοιών και ο Έμμεσος ή Μετριοπαθής Ρεαλισμός της Γνωσιολογίας του Λοκ» και Ενότητα 5.6, «Ο Εμπειρικός Ιδεαλισμός του Μπέρκλεϋ. Γνωσιολογικός Σκεπτικισμός και Ψυχολογική Ερμηνεία της Αιτιότητας στη Σκέψη του Χιουμ».

ών που συλλαμβάνουν με διαφορετικό τρόπο τη σημασία και την επίδραση της νευτώνειας παράδοσης. Η καθιερωμένη ιστορική αφήγηση προέρχεται από τον Richard Westfall (Ρίτσαρντ Γουέστφολ), ο οποίος ξεκίνησε τη σταδιοδρομία του δημοσιεύοντας ένα βιβλίο για τη νευτώνεια δυναμική και, σταδιακά, κατέληξε να θεωρείται ο πιο αναγνωρισμένος βιογράφος του Νεύτωνα. Η εξαντλητική μελέτη μεγάλου αριθμού τεκμηρίων, η εις βάθος κατανόηση των τεχνικών πλευρών της ορθολογικής μηχανικής και η ευαισθησία του απέναντι στο ζήτημα της κοινωνικής πλαισίωσης επέτρεψαν στον Westfall να καθιερώσει τον Νεύτωνα ως την κορυφαία μορφή της Επιστημονικής Επανάστασης, της περιόδου δηλαδή, κατά την οποία μορφοποιήθηκαν οι βασικές πλευρές της νεότερης επιστήμης.

Στους αντίποδες αυτής της θεώρησης θα μπορούσαν να τοποθετηθούν δύο άλλες αναγνώσεις, οι οποίες στηρίζονται σε εξίσου σημαντικά και πολυπληθή τεκμήρια. Η Betty Dobbs (Μπέτυ Ντομπς) εξετάζει το εξαιρετικά εκτεταμένο αλχημιστικό έργο του Νεύτωνα. Αναδεικνύει τις στωικές και νεοπλατωνικές του καταβολές και μελετά πώς το συγκεκριμένο έργο αφενός αποτελεί έκφραση των μεταφυσικών του αναζητήσεων και, αφετέρου, επιδρά ως τέτοιο στη μορφοποίηση θεμελιωδών εννοιών της φυσικής του φιλοσοφίας, όπως η βαρύτητα και ο αιθέρας. Από αυτή την ανάγνωση προκύπτει ένας Νεύτωνα που είναι περισσότερο «ο τελευταίος των μάγων» παρά ο πρώτος συστηματικός εισηγητής της νεότερης επιστήμης. Ο Richard Popkin (Ρίτσαρντ Πόπκιν) και ο James Force (Τζέιμς Φορς), από την άλλη, έδωσαν έμφαση στο καθαρώς θεολογικό έργο του Νεύτωνα. Ο πραγματικά τεράστιος όγκος των αδημοσίευτων θεολογικών χειρογράφων του στηρίζει πειστικά τον ισχυρισμό ενός αριθμού ερευνητών και ερευνητριών ότι η βιβλική ερμηνεία, η ανασύσταση του ναού του Σολωμόντα, οι —διαδεδομένες στην εποχή του— χλιαστικές προσδοκίες και η συνδεδεμένη με αυτές προσπάθεια κατανόησης της Αποκάλυψης αποτέλεσαν το διανοητικό πλαίσιο της εργασίας του στη φυσική φιλοσοφία. Για λόγους που έχουν να κάνουν με τη διασπορά των σχετικών τεκμηρίων αλλά και με την «αντανακλαστική» αντίσταση που προβάλλει ο σύγχρονος νους σε μια τέτοια ανασύσταση της εικόνας του Νεύτωνα, η εργασία των συγκεκριμένων ερευνητών κερδίζει έδαφος με αργούς ρυθμούς και έχει επικεντρωθεί, κυρίως, στη συγκέντρωση, την ταξινόμηση και τη μεταγραφή των ίδιων των τεκμηρίων. Το εντυπωσιακό δικτυακό πρόγραμμα *Newton Project* μπορεί να το επισκεφθεί κανείς στη διεύθυνση: <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk>.

Ο «δημόσιος» Νεύτωνα αποτελεί μια άλλη άκρως ενδιαφέρουσα ανάγνωση της ιστορίας της νευτώνειας παράδοσης. Η Patricia Fara (Πατρίσια Φάρα) εξετάζει τα κάθε είδους τεκμήρια (γραπτές πηγές, εικονογράφηση, έργα γλυπτικής, δημοσιεύσεις στον τύπο, αρχιτεκτονήματα) που συνδέονται με την κατασκευή της δημόσιας εικόνας του Νεύτωνα. Μιας εικόνας που, όσο ήταν εν ζωή, επιμελήθηκε ο ίδιος και που, στη συνέχεια, επανασηματοδοτήθηκε πολλές φορές στο πλαίσιο ποικίλων πολιτικών και κοινωνικών περιστάσεων. Η κεντρική ιδέα του συγκεκριμένου εγχειρήματος συνίσταται στην προσπάθεια να καταδειχθεί ότι δεν είναι μόνο ο Νεύτωνα που συνέβαλε στη διαμόρφωση της σύγχρονης επιστήμης, αλλά ότι και η επιστήμη, στην πορεία της θεσμικής και ιδεολογικής εδραίωσής της, συνέβαλε στη διαμόρφωση της εικόνας που έχουμε σήμερα για το Νεύτωνα.

Όπως συμβαίνει με τον Κοπέρνικο και, κυρίως, με τον Γαλιλαίο, ο αριθμός των ερευνητών και ερευνητριών που ασχολούνται με τον Νεύτωνα και τη νευτώνεια παράδοση είναι τεράστιος. Τα ονόματα που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι απολύτως ενδει-

κτικά και χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο για να «προσωποποιηθούν» κάποιες ιστοριογραφικές παραδόσεις, στο πλαίσιο των οποίων εργάστηκαν και εργάζονται πολύ περισσότεροι και εξίσου σημαντικοί ερευνητές. Στη βιβλιογραφία που ακολουθεί περιλαμβάνονται τα έργα μερικών ακόμα από αυτούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Cohen, I. B., “Newton’s Method and Newton’s Style” στο F. Durham και R. D. Purrington (επιμέλεια), *Some Truer Method*, Columbia University Press, 15-57, Νέα Υόρκη, 1990.

Cohen, I. B., Whitman, A., *Isaac Newton, The Principia. Mathematical Principles of Natural Philosophy. A New Translation*, University of California Press, Berkeley και Λονδίνο, 1999.

Châtelet, G.É., *Institutions Physiques Adressées à Mr. son Fils*, Άμστερνταμ, 1742.

Dobbs, B. J. T., *The Janus Faces of Genius: the Role of Alchemy in Newton’s Thought*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.

Dobbs, B. J. T., Jacob M. C., *Newton and the Culture of Newtonianism*, Humanities Press, Atlantic Highlands, N.J., 1995.

Fara, P., *Newton, the Making of Genius*, Picador, Λονδίνο και Οξφόρδη, 2002.

Force, J. E., Popkin, R. H. (επιμέλεια), *Newton and Religion: Context, Nature, and Influence*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht και Βοστόνη, 1999.

Force, J. E., Hutton, S. (επιμέλεια), *Newton and Newtonianism. New Studies*, Kluwer Academic Publishers, Νέα Υόρκη, Βοστόνη, Dordrecht, Λονδίνο, Μόσχα, 2004.

’sGravesande, W. J., *Mathematical Elements of Natural Philosophy Confirmed by Experiments; or, an Introduction to Sir Isaac Newton’s Philosophy*, μετάφραση από τα λατινικά J. T. Desaguliers, 2 τόμοι, J. Senex και W. Taylor, Λονδίνο, 1720-21.

Henry, J., “‘Pray Do Not Ascribe that Notion to Me’: God and Newton’s Gravity” στο J. E. Force και R. H. Popkin (επιμέλεια.), *The Books of Nature and Scripture: Recent Essays on Natural Philosophy, Theology, and Biblical Criticism in the Netherlands of Spinoza’s time and the British Isles of Newton’s Time*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Βοστόνη, Λονδίνο: 123-147, 1994.

Musschenbroek, P. van., *The Elements of Natural Philosophy. Chiefly Intended for the Use of Students in Universities*, μετάφραση από τα λατινικά J. Colson, 2 τόμοι, J. Nourse, Λονδίνο, 1744.

Newton, I., *Opticks; or, A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light*, 4^η έκδοση, W. Innys, Λονδίνο, 1730.

Rattansi, P. M., “Voltaire and the Enlightenment Image of Newton»” στο H. Lloyd-Jones, V. Pearl και B. Worden (επιμέλεια), *History and Imagination: Essays in Honour of H. R. Trevor-Roper*, Holmes and Meier, Νέα Υόρκη: 218-231, 1982.

Schaffer, S., “Glass Works: Newton’s Prisms and the Uses of Experiment” στο D. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (επιμέλεια), *The Uses of Experiment. Studies in the natural sciences*, Cambridge University Press, Cambridge: 67-104, 1989.

Stewart, L., *The Rise of Public Science: Rhetoric, Technology, and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660–1750*, Cambridge University Press, Cambridge και Νέα Υόρκη, 1992.

Truesdell, C., “A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason”, *Archive for History of Exact Sciences*, 1: 3-36, 1960.

Voltaire, *The Elements of Sir Isaac Newton's Philosophy*, μετάφραση από τα γαλλικά και επιμέλεια J. Hanna, S. Austen, Λονδίνο, 1738.

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

Hankins, T. L., *Επιστήμη και Διαφωτισμός*, μετάφραση Γ. Γκουνταρούλης, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1998.

Westfall, R.S., *Η ζωή του Ισαάκ Νεύτωνα*, μετάφραση Δ. Γιαννίμπας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο, 1999.