



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

Η ΝΕΥΤΩΝΕΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗ

Η θέση του Ισαάκ Νεύτωνα στην ιστορία της επιστήμης γενικά και στην ιστορία της επιστήμης του 17ου αιώνα ειδικότερα αναγνωρίζεται απ' όλους. Το επιτεύγμα του Νεύτωνα δεν ήταν απλώς τεράστιο, έτσι ώστε να ξεχωρίζει ως ένα από τα μέγιστα κατορθώματα του ανθρώπινου νου, αλλά επιπλέον συνένωσε τις κύριες τάσεις της επιστήμης του 17ου αιώνα, λύνοντας σοβαρά προβλήματα που είχε αφήσει ανεπίλυτα η επιστημονική επανάσταση. Επιλύοντας τα προβλήματα, το έργο του κάθε άλλο παρά σήμανε το τέλος ή έστω κάποια διακοπή της επιστημονικής προσπάθειας. Όπως όλες οι μεγαλοφυείς δημιουργίες, τα συγγράμματά του για κάθε ζήτημα που έλυναν έθεταν και δυο καινούρια και το έργο του συνόψιζε μεν την επιστημονική επανάσταση του 17ου αιώνα, αλλά επίσης εγκαινίαζε τη φυσική επιστήμη του 18ου αιώνα. Ο Νεύτων επεξεργάστηκε σε τέτοιο βαθμό τη μηχανοκρατική αντίληψη για τη φύση, αναμορφώνοντάς την εκ θεμελίων, ώστε μπόρεσε να αποτελέσει το πλαίσιο της επιστημονικής σκέψης στον δυτικό κόσμο άλλα διακόσια χρόνια.

Υπάρχουν όμως κι άλλοι λόγοι που δικαιολογούν την ιδιαίτερη θέση του Νεύτωνα στην ιστορία της επιστήμης. Αφού δεν κατέστρεφε σχεδόν ποτέ τα γραπτά του –διασώθηκαν στοίβες ολόκληρες με χαρτιά που δεν έχουν παρά απλούς αριθμητικούς υπολογισμούς– η μελέτη του έργου του δεν περιορίζεται σε ολοκληρωμένα και επεξεργασμένα κείμενα. Κρατούσε δια-

διάζοντας πολυάριθμες σημειώσεις, που μας επιτρέπουν να προσδιορίσουμε τις σπουδαιότερες επιρροές που δέχτηκε, και από τα διάφορα τετράδια, που ανάγονται ως τα φοιτητικά του χρόνια, μπορούμε να ακολουθήσουμε κι εμείς δήμα προς δήμα την πορεία που διέγραψε εξετάζοντας τη φύση. Το αποτέλεσμα είναι μια λεπτομερής εικόνα –μοναδική στην ιστορία της διανόησης– της προόδου ενός ανώτερου νου, μια εικόνα που μας επιτρέπει να κατανοήσουμε το έργο του Νεύτωνα όπως το συνέλαβε, και να το τοποθετήσουμε με ακρίβεια στο πλαίσιο της επιστήμης του 17ου αιώνα.

Το πλαίσιο αυτό ήταν, αναπόφευκτα, η παραδεδεγμένη μηχανοκρατική αντίληψη για τη φύση, που δοήθησε στα αρχικά δήματα του Νεύτωνα στην επιστημονική σκέψη. Ενώ ήταν ακόμα φοιτητής, ανακάλυψε τα κείμενα των μηχανοκρατικών, του Καρτέσιου, του Γκασαντί, του Χομπς, του Μπούλ και άλλων. Ασπάστηκε αμέσως τις αντιλήψεις τους. Σημείωνε σ' ένα τετράδιο αποσπάσματα από τα έργα τους και τα ερωτήματα που ανέκυπταν, και πείστηκε για τα πλεονεκτήματα του μηχανοκρατικού ατομισμού. Όσα έγραφε στο τετράδιο ήταν τα πρώτα δείγματα των σκέψεων που τον απασχόλησαν ολόκληρη τη ζωή του σχετικά με τη βαθύτερη φύση του υλικού κόσμου.

Πριν ακόμα από το 1675 οι σκέψεις του είχαν ήδη αποκρυσταλλωθεί σ' ένα σύστημα για τη φύση δικής του επινόησης. Εκείνη τη χρονιά παρουσίασε μια περιγραφή αυτού του συστήματος στη Βασιλική Εταιρεία με τίτλο «Υπόθεσις ερμηνεύουσα τις ιδιότητες του φωτός». Καθώς αφήνει να εννοηθεί ο τίτλος, το δοκίμιο ασχολούνταν κυρίως με την ερμηνεία ορισμένων οπτικών φαινομένων, ιδιαίτερα των περιοδικών φαινομένων των «δακτυλίων του Νεύτωνα», τους οποίους περιέγραφε σ' ένα χειρόγραφο που υπέβαλε μαζί με το δοκίμιο. Προχωρούσε όμως πολύ πέρα από την οπτική και παρουσίαζε ένα σύντομο αλλά πλήρως επεξεργασμένο μηχανοκρατικό σύστημα για τη φύση. Βασικό σημείο ήταν ο ισχυρισμός ότι ο χώρος είναι γεμάτος με αιθέρα, ένα ρευστό που αποτελείται από μικρότατα σωμάτια. Ο αιθέρας έχει μεταβλητή πυκνότη-

τα και την ικανότητα να αλλάζει τη διεύθυνση των σωματιδίων του φωτός που περνούν μέσα του. Όσον αφορούσε τα οπτικά φαινόμενα, το κύριο σημείο της «Υπόθεσης» ήταν να δείξει πως όλα τα φαινόμενα του φωτός μπορούν να εξηγηθούν με τέτοιες μεταβολές της διεύθυνσης. Εκτός από την οπτική χρησιμοποίησε τον αιθέρα και για να εξηγήσει φαινόμενα τόσο διαφορετικά μεταξύ τους όπως η αίσθηση και η μυική δραστηριότητα, η συνοχή των σωμάτων, και το βάρος. Υποστήριζε ότι όλα τα σώματα αποτελούνται από συμπυκνωμένο αιθέρα και στην εξήγηση της συμπύκνωσής του στον ήλιο συμπεριέλαβε και την πρώτη δημόσια ασαφή διατύπωση του νόμου της παγκόσμιας έλξης. Καθώς η συμπύκνωση του αιθέρα στη γη συνεπάγεται τη συνεχή κίνηση του αιθέρα προς τη γη, φέρνοντας τα πυκνότερα σώματα προς τα κάτω και κάνοντάς τα να φαίνονται βαριά, έτσι και η συμπύκνωσή του στον ήλιο προκαλεί μια παρόμοια κίνηση η οποία διατηρεί τους πλανήτες στις τροχιές τους.

Η «Υπόθεση του φωτός» περιλαμβάνει όλα τα συνηθισμένα χαρακτηριστικά των μηχανοκρατικών αντιλήψεων για τη φύση. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των συλλογισμών του Νεύτωνα ήταν ο ρόλος που έπαιζαν σ' αυτούς ορισμένα φαινόμενα, φαινόμενα που ως επί το πλείστον εμφανίζονταν ήδη στο φοιτητικό του σημειωματάριο και τα οποία συνέχισε να παραθέτει σε κάθε παρουσίαση των συλλογισμών του, ως την τελική τους διατύπωση στα «Ερωτήματα» που συνόδευαν την *Οπτική*. Έτσι, όπως ήταν φυσικό, εμφανίστηκαν και στην «Υπόθεση». Ένα τέτοιο φαινόμενο ήταν η συνοχή των σωμάτων, που στα μηχανοκρατικά συστήματα αποδίδεται συνήθως στη συμπλοκή των μερών, και εξηγείται από τον Καρτέσιο απλώς και μόνο με τη σχετική ακινησία των μερών. Ο Νεύτων δεν ήταν ικανοποιημένος με καμιά από τις δύο λύσεις του προβλήματος. Ένα άλλο πρόβλημα δημιουργούσε η διαστολή των αερίων. Όταν ο Ρόμπερτ Μπούλ διατύπωσε την έννοια της πίεσης στον αέρα χρησιμοποίησε ως ανάλογο παράδειγμα την προδιά των ζώων. Όταν πιέζεται, οι τρίχες της λυγίζουν και ενώνονται, ενώ όταν παύει να ασκείται δύναμη επανέρχο-

νται στην αρχική τους θέση. Ωστόσο τα πειράματα αποκάλυψαν ότι ο αέρας μπορεί να διασταλεί χιλιάδες φορές σε όγκο και ο Νεύτων είχε πειστεί ότι ένα χονδροειδές μηχανικό ανάλογο όπως αυτό του Μπούλ δεν μπορούσε να εξηγήσει διαστολές τέτοιου μεγέθους. Την προσοχή του τράβηξαν δυο τύποι χημικών φαινομένων. Σε μερικές αντιδράσεις παράγεται θερμότητα. Κατά την άποψη του Νεύτωνα η θερμότητα είναι αίσθημα που προκαλείται από την κίνηση των σωματίων από τα οποία αποτελούνται τα σώματα. Από πού άραγε προέρχεται η κίνηση όταν αναμειγνύονται σιγά-σιγά δυο ψυχρές ουσίες; Το ίδιο τού κινούσαν την περιέργεια και οι αντιδράσεις που φανέρωναν συγγένειες. Για να χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα που το θεωρούσε όμοιο με αυτού του είδους τις αντιδράσεις, δυσκολευόταν να εξηγήσει γιατί το νερό αναμιγνύεται με το κρασί αλλά δεν αναμειγνύεται με το λάδι. Μιλούσε για «κάποια μυστική αρχή της φύσης, σύμφωνα με την οποία τα υγρά συγχρωτίζονται με ορισμένα και δεν συγχρωτίζονται με άλλα». Μια μυστική αρχή ικανότητας συγχρωτισμού – οι λέξεις και μόνο ξανάφεραν στο προσκήνιο τα φαντάσματα των απόκρυφων ιδιοτήτων που είχε έρθει για να εξορκίσει η μηχανοκρατία.

Είναι αλήθεια ότι όλα τα σημαντικά φαινόμενα που απασχόλησαν τον Νεύτωνα σε όλη του τη ζωή είχαν μια κοινή ιδιότητα: ήταν όλα ακανθώδη προβλήματα, φαινόμενα που ήταν δύσκολο να εξηγηθούν με τις συνηθισμένες επινοήσεις της μηχανοκρατίας, με τα σχήματα, με τα μεγέθη και με τις κινήσεις των σωματίων.

Βέβαια, ήταν επόμενο να υπάρχουν και κάποια φαινόμενα δύσκολα για τη μηχανοκρατία. Η θεωρία είχε βασιστεί στην υπόθεση ότι η πραγματικότητα της φύσης δεν είναι όμοια με τα φαινόμενα που αναπαριστούν οι αισθήσεις μας. Όπως είδαμε, οι μηχανοκρατικοί φαντάζονταν μικροσκοπικούς μηχανισμούς για να εξηγούν τέτοιες δυσκολίες. Για τον ίδιο λόγο, προφανώς, συγκρότησε κι ο Νεύτων την υπόθεσή του για τον αιθέρα. Είναι εν τούτοις φανερό ότι δεν έμεινε ικανοποιημένος με τις συνηθισμένες μηχανοκρατικές εξηγήσεις αυτών των

φαινομένων και το 1686 και το 1687, όταν έγραφε τις *Αρχές* του, τον αιθέρα των αρχικών συλλογισμών του είχαν αντικαταστήσει οι δυνάμεις μεταξύ των σωμάτων. Είκοσι χρόνια αργότερα, στην πρώτη λατινική έκδοση της *Οπτικής* (1706), σ' αυτό που είναι σήμερα γνωστό ως 31ο Ερώτημα, ο Νεύτων έδωσε στις σκέψεις του την οριστική τους μορφή.

«Δεν έχουν τα μικρά σώματα των σωμάτων κάποια ισχύ, ικανότητες ή δυνάμεις με τις οποίες επιδρούν από μακριά, όχι μόνο στις ακτίνες του φωτός κατά την ανάκλαση, τη διάθλαση και την έγκλισή τους, αλλά και μεταξύ τους, προκαλώντας ένα μεγάλο μέρος των φαινομένων της φύσης; Διότι είναι πασίγνωστο ότι τα σώματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με τις έλξεις της βαρύτητας, του μαγνητισμού και του ηλεκτρισμού· και αυτές οι περιπτώσεις δείχνουν τη γενική κατεύθυνση και την πορεία της φύσης και καθιστούν πιθανό να υπάρχουν και άλλες ελκτικές δυνάμεις εκτός από αυτές. Διότι η φύση συμφωνεί απολύτως εν αρμονία προς τον εαυτό της».

Το 31ο Ερώτημα παρουσιάζει στη συνέχεια λεπτομερώς τα στοιχεία που τεκμηριώνουν αυτόν τον ισχυρισμό. Πολλά προέρχονταν από τη χημεία. Όταν υδροποιηθεί το τρυγικό άλας (K_2CO_3) (ή, με την πιο γραφική έκφραση του 17ου αιώνα, *réé per deliquium*) πολύ δύσκολα μπορεί να διαχωριστεί από το νερό που έχει απορροφήσει. Προφανώς το τρυγικό άλας προσελκύει το νερό. Όταν χύνεται οξύ επάνω σε ρινίσματα σιδήρου και τα διαλύει, παρατηρείται ταυτόχρονα θερμότητα και αναβρασμός επειδή η αμοιβαία έλξη γίνεται αιτία να κινούνται ορμητικά τα σώματα για να πλησιάσει το ένα στο άλλο.

«Και για τον ίδιο λόγο δεν παρατηρείται λάμψη όταν χύνεται λαμπικαρισμένο πνεύμα του οίνου στο ίδιο μικτό σπίρτο [του νίτρου]; Και γι' αυτό δεν εκρήγνυται το *Pulvis fulminans* [κυριολεκτικά, αστράπτουσα σκόνη], που αποτελείται από θείο, νίτρο και τρυγικό άλας, με μια έκρηξη πιο

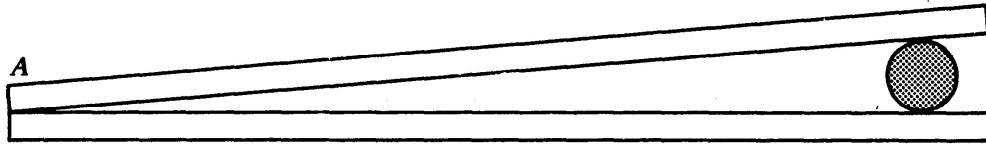
απότομη και πιο σφοδρή από την πυρίτιδα, καθώς τα όξινα σπίρτα του θείου και του νίτρου ορμούν το ένα προς το άλλο, και προς το τρυγικό άλας, με τέτοια σφοδρότητα ώστε από τη σύγκρουση να μεταβάλλεται αμέσως το παν σε ατμούς και φλόγες;»

Στις αντιδράσεις που παράγουν θερμότητα προσέθεσε κι εκείνες που φανερώνουν εκλεκτικές συγγένειες, όπως οι αντιδράσεις αντικατάστασης, στις οποίες όταν σε ένα όξινο διάλυμα προστίθεται κάποιο μέταλλο παρατηρείται καθίζηση ενός άλλου μετάλλου. Δεν είναι εκλεκτικές όλες οι δυνάμεις μεταξύ των σωματίων. Ορισμένα σωματίδια απωθούν το ένα το άλλο. Για τη διάλυση αλάτων σε νερό τέτοιες απώσεις είναι απαραίτητες, επειδή γίνεται αλατώδες όλο το διάλυμα παρ' όλο που το άλας είναι βαρύτερο από το νερό και θα κατέβαινε στον πυθμένα αν τα σωματίδια του δεν αλληλοαπωθούνταν. Την ύπαρξη αυτών των δυνάμεων μαρτυρούν και φαινόμενα μη χημικά. Η συνοχή των σωμάτων και τα τριχοειδικά φαινόμενα φανερώνουν έλξεις, ενώ η διαστολή των αερίων οφείλεται στις απώσεις. Ποια είναι η σχέση των έλξεων και των απώσεων; Στην άλγεβρα, έλεγε ο Νεύτων, τα αρνητικά αρχίζουν εκεί που τελειώνουν τα θετικά. Με παρόμοιο τρόπο, τα υλικά σωματίδια έλκουν το ένα το άλλο δυνατά όταν είναι κοντά και γίνονται αιτία της συνοχής των σωμάτων. Αν όμως ένα σωματίδιο απελευθερωθεί με κάποιο τρόπο και απομακρυνθεί πέρα από κάποια απόσταση, την έλξη αντικαθιστά μια άπωση έτσι ώστε ο ατμός του νερού, για παράδειγμα, διαστέλλεται και αποκτά τεράστιο όγκο.

Η παραδοχή του Νεύτωνα ότι υπάρχουν δυνάμεις που επενεργούν μεταξύ των σωματίων της ύλης αποτέλεσε σημαντική ρήξη με την επικρατούσα μηχανοκρατική αντίληψη για τη φύση. Ο τρόπος που αντιμετώπισε τον μαγνητισμό είναι ένα διαφωτιστικό δείγμα αυτής της αλλαγής. Τον 16ου αιώνα ο μαγνητισμός ήταν το κατεξοχήν παράδειγμα των μυστηριωδών επιρροών που πιστευόταν ότι κυριαρχούν στο σύμπαν. Αντίστοιχα, οι μηχανοκρατικοί είχαν αισθανθεί υποχρεωμένοι να

εξηγήσουν τη μαγνητική έλξη εφευρίσκοντας έναν αόρατο μηχανισμό που να τη δικαιολογεί. Το ίδιο είχε κάνει και ο Νεύτων σε ένα νεανικό του γραπτό. Στα ώριμα έργα του η μαγνητική έλξη παρουσιαζόταν ως παράδειγμα των δυνάμεων που επενεργούν από απόσταση. Επίσης ο Νεύτων πλησίαζε εκείνους τους παλαιότερους τρόπους σκέψης και λόγω του ειδικού χαρακτήρα που είχαν οι δυνάμεις του. Στο 31ο Ερώτημα, όποτε αναφερόταν στις έλξεις και στις απώσεις μεταξύ των σωματίων, δεν εννοούσε μια δύναμη κοινή σε όλα τα σωματίδια με την οποία έλκουν τα κοντινότερα και απωθούν τα πιο μακρινά. Σε περιπτώσεις χημικών συγγενειών, παραδείγματος χάριν, ορισμένες ουσίες προσελκύνουν μόνον ορισμένες άλλες. Οι απωστικές δυνάμεις που διατηρούν διαλυμένα τα άλατα θεωρούνταν ότι δρουν μόνο μεταξύ των σωματίων του άλατος, όχι μεταξύ του άλατος και του νερού. Δεν είναι να απορεί λοιπόν κανείς που οι επικριτές του Νεύτωνα πίστευαν ότι επέστρεφε στο ύφος της φυσιοκρατίας της Αναγέννησης και ότι υπέσκαπτε και αυτά ακόμα τα θεμέλια στα οποία βασιζόταν η επιστήμη.

Ο ίδιος ο Νεύτων θεωρούσε ότι οι δυνάμεις ανάμεσα στα σωματίδια ήταν έννοια που απαιτούνταν για την τελειοποίηση της μηχανοκρατίας και καθόλου αντίθετή της. Προσθέτοντας στην ύλη και στην κίνηση μια τρίτη κατηγορία, τη δύναμη, επιδίωξε να συμφιλιώσει τη μαθηματική μηχανική με τη μηχανοκρατία. Γι' αυτόν η δύναμη δεν ήταν ποτέ μια συγκεχυμένη ποιοτική ενέργεια, όπως οι συμπάθειες και οι αντιπάθειες της φυσιοκρατίας της Αναγέννησης. Την τοποθέτησε σε ακριβή μηχανικά πλαίσια στα οποία η δύναμη μετριέται από την ποσότητα κίνησης που μπορεί να παράγει. Είναι αλήθεια ότι τις περισσότερες από τις δυνάμεις που αναφέρονται στο 31ο Ερώτημα δεν κατόρθωσε ποτέ να τις περιγράψει μαθηματικά. Σ' ένα ενδιαφέρον πείραμα με μια σταγόνα χυμό πορτοκάλι ανάμεσα σε δυο γυάλινες πλάκες προσπάθησε να αποδώσει ποσοτικά τις δυνάμεις των τριχοειδών φαινομένων. (Βλ. Σχ. 8.1.) Μετρώντας την απόσταση ανάμεσα στις πλάκες και την έκταση της επαφής με τη σταγόνα υπολόγισε την έλξη από το βά-



ΣΧΗΜΑ 8.1. Μέτρηση των τριχοειδών δυνάμεων. Οι δυο γυάλινες πλάκες είχαν μήκος περίπου μισό μέτρο, εφάπτονταν στο ένα άκρο και στο άλλο η μεταξύ τους απόσταση ήταν τόση ώστε η σταγόνα του χυμού να εφάπτεται και με τις δυο. Όταν ανυψώνεται το άκρο Α, το βάρος του χυμού ενεργεί αντίθετα προς την τριχοειδή έλξη και ο Νεύτων προσπάθησε να μετρήσει την τριχοειδή έλξη εξισορροπώντας τις δυο δυνάμεις.

ρος του χυμού που ανυψωνόταν. Στις Αρχές, απέδειξε ότι πρέπει να ισχύει ο νόμος του Μπούλ αν τα σωμάτια του αέρα αλληλοαπωθούνται με δύναμη αντιστρόφως ανάλογη προς τη μεταξύ τους απόσταση. Οι περισσότερες από τις δυνάμεις που αναφέρονται στο 31ο Ερώτημα παρουσιάζονταν μόνο με ποιοτικούς όρους, οι οποίοι υποδήλωναν απλώς τις ενδείξεις που φαινόταν να αποδεικνύουν την υπάρξή τους. Κατά κανόνα, όμως, μπορούσαν όλες να αποδοθούν με ακριβή μαθηματική περιγραφή. Έτσι, για τον Νεύτωνα η έννοια της δύναμης ισοδυναμούσε με το μέσο με το οποίο μπορούσαν να εισαχθούν στη μηχανοκρατία οι απόψεις του Γαλιλαίου. Μάλιστα με μια δύναμη κατόρθωσε να ολοκληρώσει αυτό το εγχείρημα με λαμπρό αποτέλεσμα. Χωρίς την έννοια της δύναμης δεν θα μπορούσε να ανακαλυφθεί ο νόμος της παγκόσμιας έλξης. Με τον νόμο της παγκόσμιας έλξης η έννοια της δύναμης οδήγησε τη φυσική επιστήμη σε ένα άλλο, ανώτερο επίπεδο, που ξεχωρίζει από τότε ως πρότυπο επιστημονικής απόδειξης.

Το ενδιαφέρον του Νεύτωνα για τη μηχανική ξεκινούσε από τα πρώτα του δήματα στη φυσική φιλοσοφία. Μια από τις επικεφαλίδες στο φοιτητικό του τετράδιο ήταν «Βίαιη κίνηση».

και το κείμενο ήταν μια σύντομη μελέτη για τα βλήματα, η οποία περιείχε μια προσπάθεια παρουσίασης της αρχής της αδράνειας. Πριν τελειώσει το 1664 είχε προχωρήσει ήδη πιο πέρα από την απλή προσπάθεια.

«Καθετί παραμένει από τη φύση του στην κατάσταση στην οποία βρίσκεται, εκτός αν μεταβληθεί από κάποια εξωτερική αιτία, [δήλωνε], επομένως ένα σώμα αφού κινηθεί θα διατηρεί παντοτινά την ίδια ταχύτητα, την ίδια ποσότητα και κατεύθυνση της κίνησής του».

Η ιδιάζουσα γλώσσα της πρότασης του Νεύτωνα προδίδει την επίδραση του Καρτέσιου, του οποίου διάβαζε τις *Αρχές της Φιλοσοφίας*, και το σύνολο των προτάσεων στις οποίες τη συμπεριέλαβε υποδηλώνει την επιρροή της μηχανοκρατικής αντίληψης για τη φύση. Επάνω από τις προτάσεις ο Νεύτων έγραψε τον τίτλο «Περί ανακλάσεων», που σημαίνει ότι τον απασχολούσε το πρόβλημα της κρούσης, ο μόνος τρόπος δράσης στην παραδεδεγμένη μηχανοκρατική αντίληψη για τη φύση. Πριν εγκαταλείψει το θέμα είχε φτάσει στο συμπέρασμα στο οποίο είχε καταλήξει και ο Χόυχενς περίπου πέντε χρόνια πριν, ότι το κέντρο βάρους δυο μεμονωμένων σωμάτων που συγκρούονται συνεχίζει να μένει ακίνητο ή να κινείται ομαλά σε ευθεία. Σε μια άλλη εργασία της ίδιας περιόδου εποχής ο Νεύτων προχώρησε πέρα από τον Χόυχενς, συμπεριλαμβάνοντας και την περιστροφική κίνηση στην κρούση των σωμάτων και φτάνοντας στην αρχή της διατήρησης της στροφορμής. Στο κεφάλαιο με τίτλο «Οι νόμοι της κίνησης» κατέληξε σ' έναν γενικό τύπο για την κρούση δύο οποιωνδήποτε σωμάτων που έχουν και ευθύγραμμη και γωνιακή κίνηση. Ο τίτλος της εργασίας εκφράζει και πάλι το ευρύτερο πλαίσιο στο οποίο εντάσσεται. Στη δεκαετία του 1660, οι νόμοι της κίνησης σήμαιναν για τον Νεύτωνα τον νόμο της κρούσης.

Παρ' όλα αυτά, άρχισε να επικρατεί ένα νέο είδος έρευνας. Στις προτάσεις του «Περί ανακλάσεων» ο Νεύτων ασχολούνταν με την κίνηση σωμάτων διαφορετικού μεγέθους.

«Φαίνεται επομένως πώς και γιατί μεταξύ των κινουμένων σωμάτων μερικά απαιτούν μια πιο ισχυρή, πιο αποτελεσματική αιτία, κι άλλα κάποια λιγότερο ισχυρή για να παρεμποδίσει ή να ενισχύσει την ταχύτητά τους. Και η ισχύς αυτής της αιτίας αποκαλείται συνήθως δύναμη. Και καθώς αυτή η αιτία χρησιμοποιεί ή εφαρμόζει την ισχύ, τη δύναμή της, για να εμποδίσει ή να μεταβάλει την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα σώματα, λέγεται ότι επιδιώκει να μεταβάλει την κατάστασή τους».

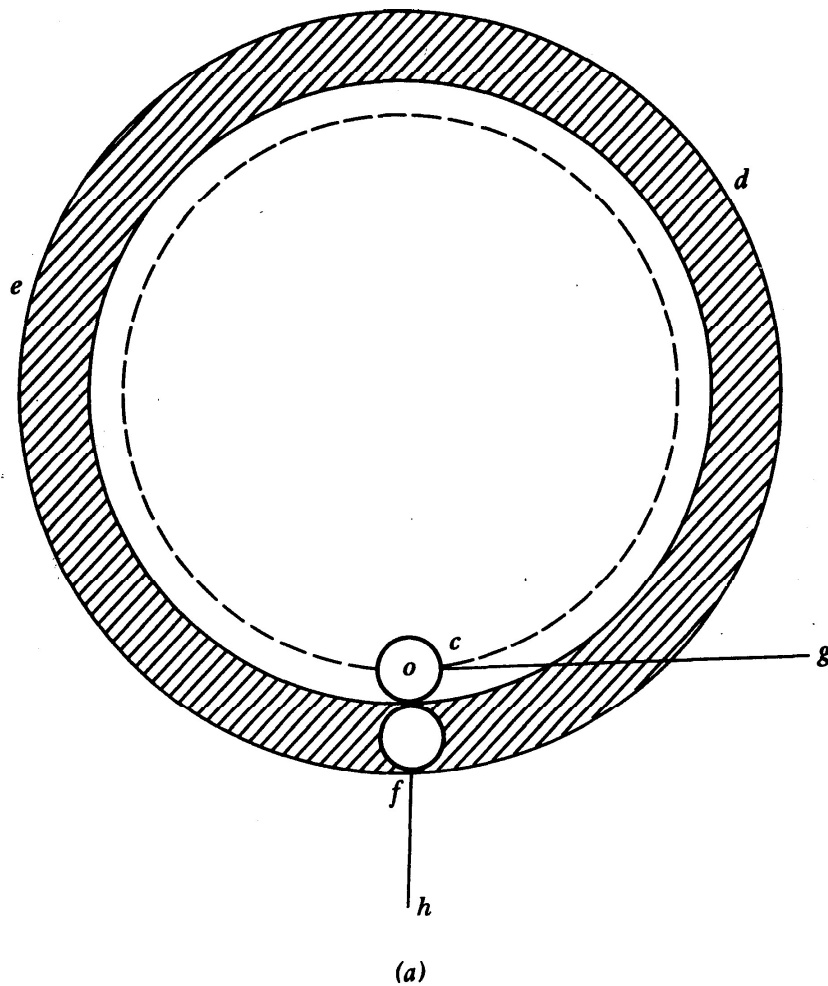
Τι είναι δύναμη; Σύμφωνα με την επικρατούσα μηχανοκρατική αντίληψη, ένα μόνο μπορούσε να σημαίνει: «Δύναμη είναι η πίεση ή η ώθηση ενός σώματος σ' ένα άλλο». Με τη διατύπωση αυτή δεν θα διαφωνούσε ούτε ο Καρτέσιος, ούτε ο Γκασαντί, ούτε ο Μπούλ. Ωστόσο ο Νεύτων έθετε ένα ερώτημα που αυτοί δεν είχαν θέσει. Ο Καρτέσιος, που έτεινε να θεωρεί ως αίτιο το κινούμενο σώματιο, είχε αναφερθεί στη «δύναμη της κίνησης ενός σώματος». Ο Νεύτων, από την άλλη μεριά, θεωρούσε τη δύναμη αφηρημένη ποσότητα που μπορούσε να μετρήσει τη μεταβολή της κίνησης ενός κινούμενου σώματος. Η μόνη πηγή της δύναμης που ήταν διατεθειμένος να παραδεχτεί τότε ήταν η κρούση, κι έτσι η «δύναμη», όπως τη χρησιμοποιούσε αυτός, δεν διέφερε οντολογικά από τη «δύναμη ενός κινούμενου σώματος» του Καρτέσιου.

«Αν δυο σώματα p και r συναντήσουν το ένα το άλλο, η αντίσταση και στα δυο είναι η ίδια, διότι όσο πιέζει το p το r τόσο πιέζει και το r το p . Και συνεπώς πρέπει και τα δυο να υφίστανται την ίδια αλλοίωση της κίνησής τους».

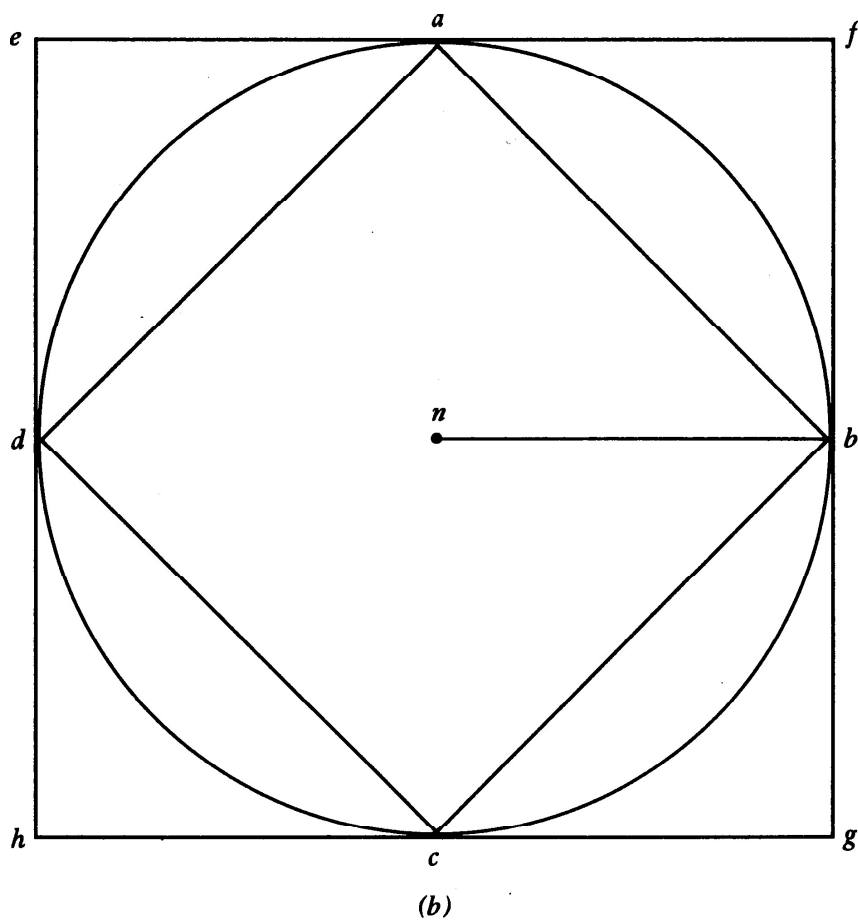
Είχε προηγηθεί πάντως ο ισχυρισμός του Καρτέσιου ότι όταν συγκρούεται ένα σώμα μπορεί να κερδίσει τόση μόνο κίνηση όση χάνει ένα άλλο, αλλά η θέση του Νεύτωνα εδραιωνόταν και πάλι σ' ένα υπόβαθρο μαθηματικής μηχανικής βασισμένο τόσο στον Γαλιλαίο όσο και στον Καρτέσιο. Η έννοια της δύναμης, ως αυτού που προκαλεί μια μεταβολή της κίνη-

σης, αποτέλεσε τον πυρήνα της συμβολής του στη μηχανική.

Σε μια άλλη από τις πρώτες εργασίες του ο Νεύτων ασχολήθηκε με το πρόβλημα της κυκλικής κίνησης. Εκμεταλλευόμενος τα συμπεράσματα του Καρτέσιου, συνέλαβε τα βασικά στοιχεία της φύσης της κυκλικής κίνησης: για να ακολουθεί κυκλική πορεία ένα σώμα πρέπει να εκτρέπεται συνεχώς από τη φυσιολογική ευθύγραμμη πορεία του. Η προφανής προέκταση της άποψης που υιοθετούσε για την κρούση θα έπρεπε να οδηγήσει τον Νεύτωνα να διερευνήσει τη δύναμη που εκτρέπει ένα τέτοιο σώμα και το θέτει σε κύκλο. Ωστόσο, αντί να πάρει αυτή την κατεύθυνση στράφηκε κι αυτός, όπως και όσοι άλλοι ασχολήθηκαν στην αρχή με την κυκλική κίνηση, στην τάση απομάκρυνσης από το κέντρο την οποία ασκεί ένα σώμα αναγκασμένο να ακολουθεί κυκλική κίνηση, στη φυγόκεντρο δύναμη του Χόυχενς. Κι αυτός, όπως και ο Χόυχενς, αναζήτησε το ποσοτικό της μέτρο, πρόβλημα δύσκολο εφόσον η δύναμη μετρούσε τη συνολική μεταβολή της κίνησης που συμβαίνει κατά την κρούση. Για να χρησιμοποιήσει αυτή την έννοια στην κυκλική κίνηση φαντάστηκε το κινούμενο σώμα να χτυπά έναν άπειρο αριθμό όμοιων σωμάτων καθώς εκτρέπεται και κινείται σε κύκλο, ενώ όλη η κίνηση που μεταδίδεται στα άλλα σώματα μεταδίδάζεται και συγκεντρώνεται σε ένα από αυτά. (Βλ. Σχ. 8.2.) Μ' αυτόν τον τρόπο έφτασε στην ιδέα της συνολικής δύναμης που ασκείται από το σώμα σε μια περιστροφή (ίσης με τη συνολική κίνηση που προκαλείται στο άλλο σώμα), μια ιδέα παρόμοια με τη συνολική δύναμη της βαρύτητας που ασκείται σε ένα σώμα ενώ πέφτει, λόγου χάριν, επί ένα λεπτό, και επίσης παρόμοια με τη δύναμη μιας κρούσης. Με γεωμετρική ανάλυση που ξεκινούσε από ένα σώμα που διέγραφε τετράγωνο και πλησιάζοντας την κυκλική πορεία ως οριακό πολύγωνο με άπειρο αριθμό πλευρών, απέδειξε ότι η συνολική δύναμη σε μια περιστροφή είναι ως προς τη δύναμη της κίνησης του σώματος (ως προς την ορμή του, με τη δική μας ορολογία) ό,τι είναι η περιφέρεια του κύκλου ως προς την ακτίνα του. (Βλ. Σχ. 8.2) Αν διαιρέσουμε τη συνολική δύναμη με τον χρόνο $2\pi r/v$ που απαιτείται για μια περιστροφή, μπορούμε να



ΣΧΗΜΑ 8.2. (α) Το κυλινδρικό σώμα def υποχρεώνει το σώμα o να κινηθεί σε κυκλική πορεία. Όταν το o βρίσκεται στο c , τείνει να κινηθεί κατά μήκος της γραμμής cg και πιέζει τον κύλινδρο. Ας υποθέσουμε ότι το def αποτελείται από έναν αριθμό ξεχωριστών σωμάτων όπως αυτό στο f . Καθώς κινείται στον κύκλο, το σώμα o πιέζει καθένα από αυτά, προσδίδοντάς του κίνηση. Ο Νεύτων υπέθεσε ότι όλη αυτή η κίνηση μεταβιβάζεται στο f , και η κίνησή του κατά μήκος του fh αποτελούσε το μέτρο της συνολικής δύναμης του σώματος o μακριά από το κέντρο στη διάρκεια μιας πλήρους περιστροφής.

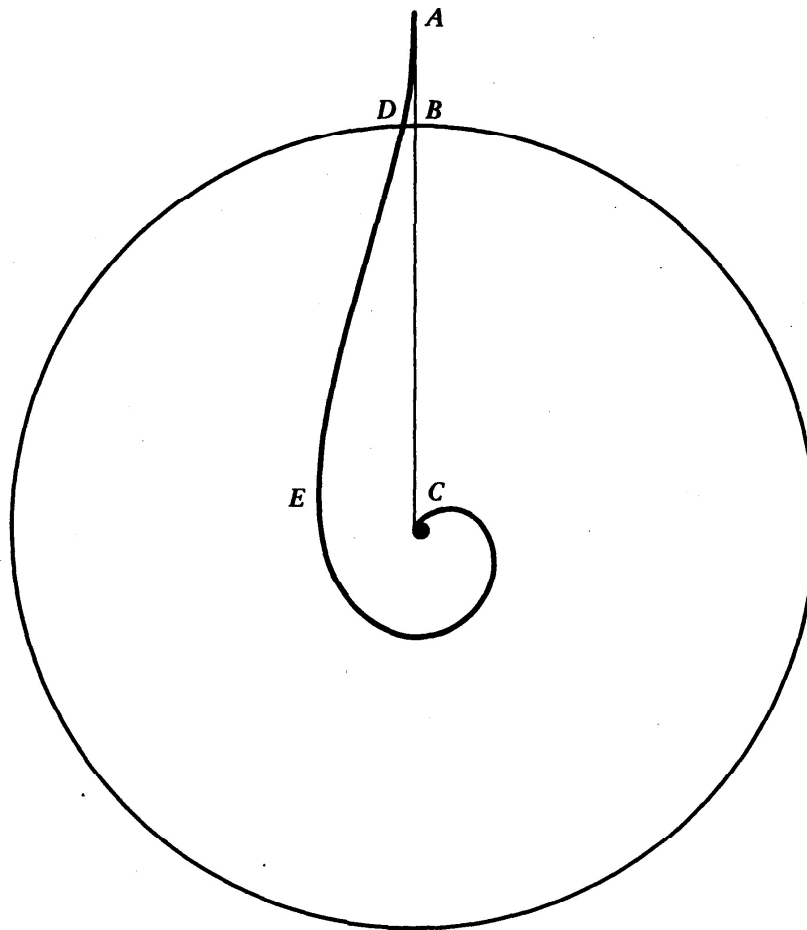


ΣΧΗΜΑ 8.2. (β) Η ποσοτική θεώρηση της κυκλικής κίνησης από τον Νεύτωνα. Στο σχήμα αυτό το σώμα (στο β) κινείται διαγράφοντας το τετράγωνο $abcd$ μέσα στο κυλινδρικό σώμα. Ο Νεύτων έδειξε ότι η δύναμη στις τέσσερις γωνίες είναι ως προς τη δύναμη της κίνησης του σώματος ό,τι είναι το μήκος της πορείας του $(ab + bc + cd + da)$ ως προς την ακτίνα nb . Κατόπιν απέδειξε ότι όταν το τετράγωνο μεταβάλλεται σε πολύγωνο ισχύει η ίδια αναλογία, έως ότου, καθώς το πολύγωνο πλησιάζει τον κύκλο οριακά, ο λόγος γίνεται ο λόγος της περιφέρειας προς την ακτίνα.

αναγάγουμε τη λύση του Νεύτωνα στον δικό μας τύπο για τη φυγόκεντρο δύναμη ($F = mv^2/r$).

Ο Νεύτων χρησιμοποίησε αυτόν τον τύπο σε μια άλλη εργασία από τη δεκαετία του 1660 για να συγκρίνει τη φυγόκεντρο τάση της σελήνης με την επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης και για να συγκρίνει τις φυγόκεντρες τάσεις μεταξύ των πλανητών. Το δεύτερο αυτό πρόβλημα ήταν απλώς θέμα αντικατάστασης του τύπου του για τη φυγόκεντρο δύναμη στον τρίτο νόμο του Κέπλερ, αν θεωρήσουμε ότι οι πλανήτες κινούνται σε τέλειους κύκλους, και βρήκε ότι η τάση απομάκρυνσης μειώνεται αναλόγως προς το τετράγωνο της ακτίνας της τροχιάς. Στην περίπτωση της σελήνης βρήκε ότι η τάση απομάκρυνσής της από τη γη είναι το ένα τετράκις χιλιοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης, αριθμός που προσέγγιζε τη σχέση του αντιστρόφου τετραγώνου, αφού τοποθετούσε τη σελήνη σε απόσταση εξήντα φορές μεγαλύτερη από την ακτίνα της γης. Η εργασία του αυτή περιέχει τις βασικές ποσοτικές σχέσεις στις οποίες βασίζεται ο νόμος της παγκόσμιας έλξης.

Πολύ αργότερα, ο Νεύτων είπε ότι το 1666 έκανε υπολογισμούς για να διαπιστώσει αν η δύναμη της βαρύτητας εκτείνεται και στη σελήνη και τη διατηρεί στην τροχιά της, και βρήκε ότι οι αριθμοί έλεγαν «σχεδόν». Αναφερόταν προφανώς σ' αυτό το κείμενο. Ωστόσο πρέπει να υπογραμμιστούν δύο σημεία. Ο νόμος της παγκόσμιας έλξης απαιτεί μια ακριδή σχέση ανάμεσα στη μετρούμενη επιτάχυνση της βαρύτητας και στην επιτάχυνση της σελήνης. Η σχέση που είχε βρει ο Νεύτων ήταν απλώς προσεγγιστική. Χρησιμοποίησε για την ακτίνα της γης τον αριθμό που βρίσκεται στον *Διάλογο* του Γαλιλαίου, αριθμό που ήταν πολύ χαμηλός, και μόνο αργότερα μια ακριδής μέτρηση της γης του έδωσε τη δυνατότητα να τον διορθώσει. Στο μεταξύ η σχέση δεν ήταν ακριδής. Δεύτερον, στην εργασία του δεν χρησιμοποιούσε καθόλου την έννοια της έλξης. Σκεπτόμενος ακόμα στα πλαίσια της δεσπόζουσας μηχανοκρατικής αντίληψης, μιλούσε για τάση απομάκρυνσης αντί για έλξη λόγω βαρύτητας.



ΣΧΗΜΑ 8.3. Το πείραμα για να αποδειχθεί η κίνηση της γης. Το σχέδιο του Νεύτωνα με την πορεία ενός σώματος που αφήνεται ελεύθερο από την κορυφή Α του πύργου ΑΒ και πέφτει στη γη που περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της.

Μεσολάβησε ένα διάστημα μεγαλύτερο από δέκα χρόνια στο οποίο ο Νεύτων διέκοψε τη μελέτη της μηχανικής καθώς την προσοχή του απασχολούσαν η οπτική και τα μαθηματικά. Το 1679 έλαβε μια επιστολή από τον Ρόμπερτ Χουκ, γραμματέα τότε της Βασιλικής Εταιρείας μετά τον θάνατο του Χένρυ Όλντενμπουργκ, που του ζητούσε να συνεχίσει τη φιλοσοφική του αλληλογραφία. Στην απάντησή του ο Νεύτων αρνήθηκε να ξεκινήσει τακτική αλληλογραφία. Είχε «χαιρετιστεί με τη

φιλοσοφία», και λυπόταν για τον χρόνο που του είχε αποσπάσει. Δεν μπορούσε όμως και να το αφήσει έτσι και για να συμπληρώσει το γράμμα πρότεινε ένα πείραμα για να αποδείξει την περιστροφή της γης. (Βλ. Σχ. 8.3.) Το παλιό επιχείρημα εναντίον της κίνησης της γης υποστήριζε ότι ένα σώμα που πέφτει από έναν ψηλό πύργο θα πρέπει να πέσει δυτικά αφού η γη περιστρέφεται σε σχέση με την κατακόρυφη πορεία του. Ο Νεύτων πρότεινε αντίθετα ότι το σώμα θα πρέπει να πέσει ανατολικά επειδή η αρχική του εφαπτομενική ταχύτητα στην κορυφή του πύργου ξεπερνά την ταχύτητα της βάσης του πύργου. Ένα διάγραμμα έδειχνε την πορεία του σώματος ως μέρος μιας σπείρας που τελείωνε στο κέντρο της γης. Αυτό ήταν απροσεξία και ο Χουκ, που είχε υποστεί μια δημόσια ταπείνωση από τον Νεύτωνα, δεν μπορούσε να το αφήσει να περάσει. Η τροχιά ενός σώματος που υποτίθεται ότι πέφτει περνώντας μέσα από τη γη χωρίς αντίσταση δεν θα τελείωνε στο κέντρο. Η πορεία θα ήταν μάλλον ένα είδος έλλειψης και το σώμα θα επέστρεφε στο αρχικό του ύψος. Το συμπέρασμα προέκυπτε, έλεγε, από τη θεωρία του για την κίνηση σε τροχιά, η οποία συνεπάγεται την ύπαρξη μιας εφαπτομενικής κίνησης και μιας κεντρικής έλξης. Ο Νεύτων δεν ήταν άνθρωπος που δεχόταν εύκολα να τον διορθώνουν. Η απάντησή του ήταν κοφτή και ψυχρή όσο δεν γινόταν. Αναγνωρίζοντας το λάθος του, διόρθωνε την περιγραφή του Χουκ για την τροχιά, που δεν μπορούσε, έλεγε, να είναι κλειστή έλλειψη. Η απάντηση του Χουκ περιλάμβανε και δεύτερη δόμδα. Αν η κεντρική έλξη ήταν σταθερή, η τροχιά που πρότεινε ο Νεύτων θα ήταν σωστή, αυτός όμως θεωρούσε ότι η έλξη μειώνεται αναλόγως προς το τετράγωνο της απόστασης. Ο Νεύτων δεν απάντησε δεύτερη φορά, αλλά αργότερα παραδέχτηκε ότι η επιστολή του Χουκ αποτέλεσε το έναυσμα για να αποδείξει ότι όταν ένα σώμα περιστρέφεται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από ένα κέντρο έλξης που βρίσκεται στη μία εστία, η δύναμη της έλξης πρέπει να μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης από την εστία. Έτσι, το 1679 ή το 1680, ο Νεύτων απέδειξε μια από τις δυο κύριες θέσεις στις οποίες βασίστηκε

ο νόμος της παγκόσμιας έλξης.

Γιατί το 1679 μπόρεσε να προχωρήσει περισσότερο απ' ό,τι το 1666; Όταν ολοκληρώθηκαν οι *Αρχές*, το 1686, ο Χουκ υποστήριξε ότι ο Νεύτων είχε ιδιοποιηθεί δικές του ιδέες. Οι ιστορικοί απέρριψαν σχεδόν όλοι τον ισχυρισμό του και οι πρώτες εργασίες του Νεύτωνα που αναφέρθηκαν πιο πάνω (εργασίες τις οποίες ο Χουκ δεν γνώριζε, βέβαια) δείχνουν πόσο είχε προχωρήσει πριν από την αλληλογραφία με τον Χουκ. Επιπλέον, για τον Χουκ η έλξη της βαρύτητας ήταν πάντα μια ιδέα που συζητιόταν με λόγια χωρίς να αποδεικνύεται μαθηματικά, ενώ η ορθότητα του νόμου της παγκόσμιας έλξης βασιζόταν εξ ολοκλήρου στις μαθηματικές αποδείξεις, τις οποίες μόνο ο Νεύτων παρείχε. Το 1666, πάντως, τον Νεύτωνα απασχολούσαν οι φυγόκεντρες τάσεις κι όχι οι κεντρικές έλξεις. Ο Χουκ ήταν ο άνθρωπος που αντέστρεψε το πρόβλημα και το τοποθέτησε σωστά, προσδιόρισε τα μηχανικά στοιχεία της τροχιακής κίνησης, μια εφαπτομενική ταχύτητα και μια κεντρική έλξη, κι έθεσε έτσι το ερώτημα με μορφή από την οποία μπορούσε να προκύψει η έννοια της παγκόσμιας έλξης. Ας προσθέσουμε ότι ο σπόρος του Χουκ έπεσε σε έδαφος έτοιμο να τον δεχτεί, όπου μπορούσε να ριζώσει και να βλαστήσει. Η χρονική στιγμή δεν μπορούσε να είναι καλύτερη. Η πρόταση του Χουκ για την ύπαρξη μιας κεντρικής έλξης ήρθε ακριδώς όταν οι συλλογισμοί του Νεύτωνα τον είχαν οδηγήσει να υποστηρίξει την ύπαρξη δυνάμεων ανάμεσα στα σωμάτια. Ήταν σε θέση να δεχτεί την ιδέα της έλξης πιο πρόθυμα από κάθε άλλη φορά. Η ιδέα της έλξης, με τη σειρά της, προσέφερε φυσικό περιεχόμενο στη μαθηματική αφηρημένη έννοια της δύναμης, προς την οποία είχε κινηθεί το προηγούμενο έργο του στη μηχανική. Με δυο λόγια, υπήρχαν τώρα όλοι οι παράγοντες που απαιτούνταν για να γεννηθεί η έννοια της παγκόσμιας έλξης.

Ωστόσο, η αλληλογραφία με τον Χουκ δεν έφερε κανένα αποτέλεσμα εκτός από ένα χειρόγραφο που δεν το προόριζε για δημοσίευση και που αποδεικνύει ότι μπορούν να προκύψουν ελλειπτικές τροχιές από το αντίστροφο του τετραγώνου

της έλξης. Το 1679 ο Νεύτων συνερχόταν από έναν ψυχικό κλονισμό. Πέντε χρόνια ζούσε στο Καίμπριτζ ουσιαστικά απομονωμένος από τον υπόλοιπο επιστημονικό κόσμο. Τον Αύγουστο του 1684 δέχτηκε την επίσκεψη του Έντμουντ Χάλεϋ, που μελετούσε χωρίς επιτυχία το πρόβλημα της τροχιάς. Ο Χάλεϋ τον ρώτησε απερίφραστα ποια τροχιά θα ακολουθούσε ένα σώμα που κινείται σε τροχιά γύρω από ένα άλλο που το έλκει με δύναμη αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης. Έλλειψη, απάντησε ο Νεύτων. Πώς το ήξερε; Μα την είχε υπολογίσει. Ωστόσο, όταν πήγε να φέρει το χειρόγραφο, δεν το βρήκε. Σύντομα απέδειξε από την αρχή την πρόταση και το τελικό αποτέλεσμα της συνάντησης ήταν *Οι μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας*³⁵, το αθάνατο μνημειώδες έργο που διασφαλίζει τη θέση του Νεύτωνα στην ιστορία της επιστήμης. Φεύγοντας από το Καίμπριτζ, ο Χάλεϋ είχε την υπόσχεση του Νεύτωνα ότι θα του έστελνε την απόδειξη. Αυτό που έλαβε αργότερα το φθινόπωρο, και το υπέβαλε στη Βασιλική Εταιρεία, ήταν ένα σύντομο δοκίμιο για την κίνηση, το οποίο περιείχε τις βασικές θέσεις του τελικού έργου. Με την ενθάρρυνση της Εταιρείας ο Νεύτων συνέχισε και το ολοκλήρωσε και δημοσιεύτηκε τον Ιούλιο του 1687. Η ιστορία έχει αναγνωρίσει ότι χωρίς τον Χάλεϋ, που δεν ενθάρρυνε απλώς τον Νεύτωνα αλλά χρηματοδότησε και την έκδοση από τα δικά του πενιχρά εισοδήματα, οι *Αρχές* δεν θα είχαν γραφεί. Η άποψη αυτή είναι ίσως σωστή, αλλά συντέλεσαν κι άλλοι παράγοντες. Ο Νεύτων τον οποίο πλησίασε ο Χάλεϋ το 1684 ήταν ένας άνθρωπος που τον χώριζαν πέντε χρόνια από την κατάθλιψη του 1679 και πρόθυμος όσο ποτέ πριν να δεχτεί εξωτερικά ερεθίσματα. Η επιστολή του Χουκ το 1679 έτυχε να φτάσει σε μια κατάλληλη στιγμή της πνευματικής πορείας του Νεύτωνα και η επίσκεψη του Χάλεϋ το 1684 ήρθε εξ ίσου τυχαία σε μια ευτυχισμένη περίοδο της προσωπικής του ζωής. Την άνοιξη του 1684 ο Νεύτων είχε ξεκινήσει μια πραγματεία στα μαθηματικά, κάτι που υποδηλώνει ότι άρχιζε και

35. *Philosophiae naturalis principia mathematica*.

πάλι να κοιτάζει προς τα έξω, προς την επιστημονική κοινότητα. Ο Χάλεϋ έλαβε ένα σύντομο δοκίμιο για την κίνηση τον Δεκέμβριο του 1684, αλλά ο Νεύτων ασχολούνταν ήδη με εκτεταμένες αναθεωρήσεις που αύξησαν κατά πολύ το μέγεθος και το σχήμα του. Μπορεί ο Χάλεϋ να άνοιξε πρώτος την πηγή, αλλά αφού ανοίχτηκε οι Αρχές κύλησαν αδιάστα και απρόσκοπτα από την ανεξάντλητη δεξαμενή της μεγαλοφυΐας του Νεύτωνα.

Το πρώτο βιβλίο των Αρχών δεν λέει τίποτα για την παγκόσμια έλξη. Είναι μια πραγματεία για την ορθολογική μηχανική, που προετοίμασε το έδαφος για να συμπεριληφθεί και η τροχιακή κίνηση σ' ένα ενιαίο σύστημα μηχανικής που θα περιλάμβανε τόσο τα γήινα όσο και τα ουράνια φαινόμενα. Η σημασία των Αρχών έγκειται πολύ περισσότερο στο πρώτο βιβλίο παρά στο νόμο της παγκόσμιας έλξης. Στο πρώτο βιβλίο ο Νεύτων έφερε τη μηχανική του 17ου αιώνα στο υψηλότερο επίπεδο τελειότητας, τοποθετώντας τη στη θέση που διατηρεί από τότε, τη θέση του αναγνωρισμένου προτύπου μιας επιστήμης που αποδόθηκε με επιτυχία με μαθηματικούς όρους.

Το βιβλίο αρχίζει με βασικούς ορισμούς και με τρεις νόμους για την κίνηση. Ο πρώτος νόμος διατυπώνει την αρχή της αδράνειας με τη μορφή που χρησιμοποιείται και σήμερα, αλλά η έννοια αυτή καθ' εαυτή απέρρεε άμεσα από τον Γαλιλαίο και από τον Καρτέσιο. Ο τρίτος νόμος, η αρχή της δράσης και της αντίδρασης, ήταν ιδέα του Νεύτωνα, αλλά μπορεί να θεωρηθεί και επέκταση στον κλάδο της μηχανικής των μεταβολών της κίνησης κατά την κρούση, που είχε αποδείξει προηγουμένως ο Χούχενς. Από την άλλη μεριά, ο δεύτερος νόμος και οι ορισμοί που συνδέονται μ' αυτόν έγιναν αφορμή να εισαχθεί η έννοια της δύναμης στην ορθολογική μηχανική. Με την έννοια της δύναμης η κινηματική του Γαλιλαίου μπορούσε να συμπληρωθεί με την επιστήμη της δυναμικής. «Η μεταβολή της κίνησης είναι ανάλογη προς την κινητήρια δύναμη που εφαρμόζεται και γίνεται κατά τη διεύθυνση της ευθείας κατά την οποία εφαρμόζεται η δύναμη». Αν ερμηνευθούν αυστηρά, τα λόγια του Νεύτωνα λένε ότι $F = \Delta mv$, όχι $F = ma$ ή $F =$

$(d/dt)mv$, όπως είναι οι μορφές του δεύτερου νόμου που είναι γνωστές σ' εμάς. Ο τρόπος με τον οποίο διατύπωσε τον νόμο ο Νεύτων φανερώνει αμέσως την προέλευσή του από τις πρώτες του απόψεις για την κρούση και για τις απαιτήσεις της γεωμετρίας, με την οποία είχε παρουσιάσει τις *Αρχές*. Θεωρούσε ότι η συνάρτηση $F = \Delta mv$ τείνει οριακά στην $F = ma$ όταν το Δt τείνει στο μηδέν. Με τον ορισμό της δύναμης συνδεόταν και ο ορισμός της μάζας, που διακρινόταν τώρα, πρώτη φορά, καθαρά από το βάρος.

Οι νόμοι της κίνησης στις *Αρχές* πρέπει να συγκριθούν με την παλαιότερη μελέτη του, «Οι νόμοι της κίνησης». Σ' αυτή την παλαιότερη μελέτη οι νόμοι συνοψίζονταν σ' έναν γενικευμένο τύπο για την κρούση. Στις *Αρχές* περιόρισε την κρούση σε δύο πορίσματα των νόμων, όπου αντιμετωπιζόταν ως ειδική περίπτωση της αδρανειακής κίνησης. Η προσοχή του είχε προσηλωθεί τώρα στην κίνηση των σωμάτων όταν επιδρούν διάφορες δυνάμεις.

Το πρώτο βιβλίο ασχολείται με την εφαρμογή των νόμων της κίνησης σε σημειακές μάζες, ιδιαίτερα σε σημειακές μάζες που κινούνται σε τροχιά γύρω από κέντρα έλξης. Για τον σκοπό αυτό ο Νεύτων εισήγαγε τον όρο «κεντρομόλος δύναμη», δύναμη που επιδιώκει να φτάσει στο κέντρο, για να τονίσει την αντίθεση με τη «φυγόκεντρο δύναμη», τον όρο του Χόυχενς. Ο όρος επαναλαμβάνει την ιδέα του Χουκ, που την είχε αναγγείλει στον Νεύτωνα με την αλληλογραφία του 1679, και η συνεισφορά του Χουκ δεν μπορεί να αγνοηθεί εφόσον, με την άποψη την οποία επαναλαμβάνει ο όρος, εκφράζεται η αρχική πρόοδος που επιτελέστηκε εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο αντιμετώπισε ο Νεύτων την κυκλική κίνηση σε σχέση με τον τρόπο που την είχε αντιμετωπίσει ο Χόυχενς. Όταν ο Νεύτων άρχισε να συμπληρώνει τα κενά με απτές μαθηματικές αποδείξεις προχώρησε σε περιοχές στις οποίες δεν είχε πλησιάσει ποτέ ο Χουκ. Ο Νεύτων απέδειξε ότι οι τρεις νόμοι του Κέπλερ για την κίνηση των πλανητών μπορούν να συναχθούν από τη δυναμική. Ο νόμος των εμβადών πρέπει να ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις στις οποίες ένα κινούμενο σώμα παρεκ-

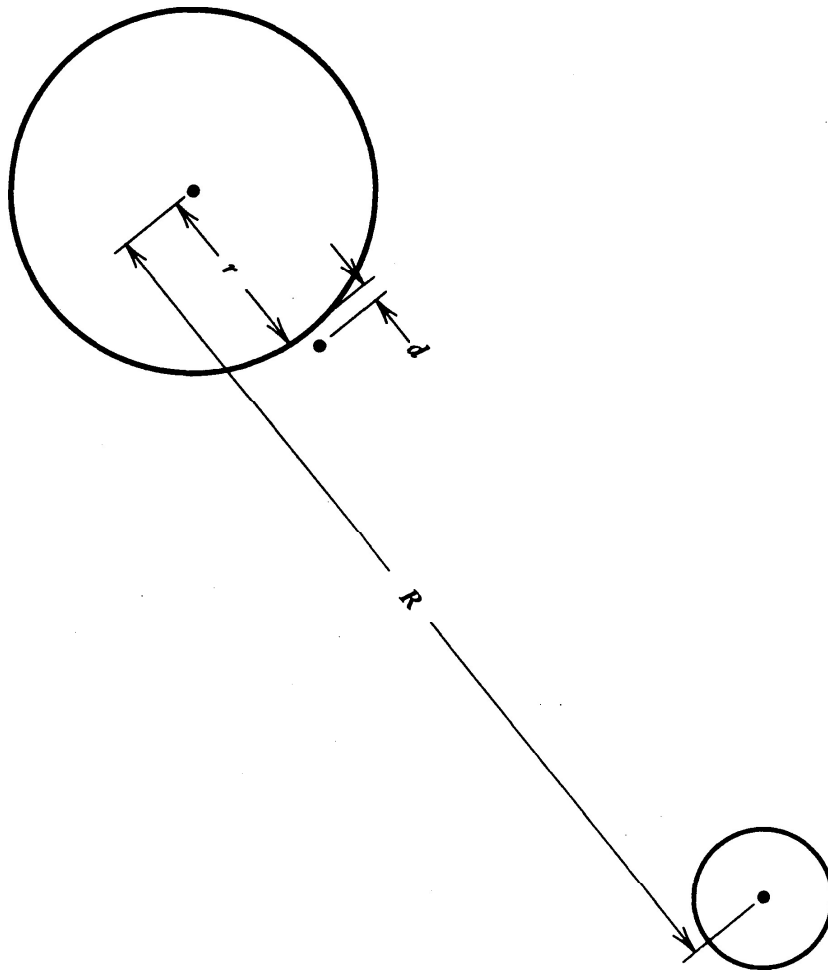
κλίνει από την αρχική του πορεία λόγω κάποιας ελκτικής δύναμης. Όταν το μέγεθος μιας τέτοιας δύναμης μεταβάλλεται αντίστροφα προς το τετράγωνο της απόστασης, τα σώματα θα κινηθούν σε τροχιά που θα έχει το σχήμα μιας από τις κωνικές τομές – έλλειψης (ή κύκλου, του ορίου της) όταν η εφαπτομενική ταχύτητα είναι κάτω από μια κρίσιμη τιμή. Στην περίπτωση του αντίστροφου του τετραγώνου μιας δύναμης, επιπλέον, τα σώματα που κινούνται σε τροχιά γύρω από ένα μόνο κέντρο έλξης πρέπει να υπακούουν στον τρίτο νόμο του Κέπλερ. Η σχέση του αντίστροφου τετραγώνου αρχικά είχε δέδαια προκύψει από την αντικατάσταση του νόμου της κεντρομόλου δύναμης στον τρίτο νόμο του Κέπλερ. Η απόδειξη ότι ο πρώτος νόμος του Κέπλερ, η ελλειπτική τροχιά, συνάγεται επίσης από το αντίστροφο του τετραγώνου μιας δύναμης ήταν εξαιρετικά δύσκολη. Ήταν μια από τις θεμελιώδεις προτάσεις στις οποίες στηρίχτηκε ο νόμος της παγκόσμιας έλξης.

Ενώ το πρώτο βιβλίο ήταν αφιερωμένο σε ιδανικά προβλήματα σημειακών μαζών που κινούνται χωρίς τριβή, το δεύτερο βιβλίο ασχολούνταν με σώματα τα οποία κινούνται μέσα από ρευστά που έχουν αντίσταση, και ιδιαίτερα με τις κινήσεις αυτών των ρευστών. Το πρώτο βιβλίο βασιζόταν στα παλαιότερα επιτεύγματα του Γαλιλαίου, του Καρτέσιου και του Χόυχενς, τα οποία και επεξεργαζόταν και τα βελτίωνε. Για το δεύτερο βιβλίο υπήρχαν μόνο στοιχειώδη προηγούμενα, έτσι ώστε αποτέλεσε ουσιαστικά την αρχή της μαθηματικής δυναμικής των ρευστών. Αναπόφευκτα, το πρωτοπόρο αυτό έργο περιείχε σφάλματα, αλλά το ότι κατόρθωσε να συμπεριλάβει μια ολόκληρη καινούρια σειρά προβλημάτων στη σφαίρα της ορθολογικής μηχανικής δεν ήταν επίτευγμα λιγότερο εντυπωσιακό από το επίτευγμα του πρώτου βιβλίου. Το κυριότερο σημείο του δεύτερου βιβλίου ήταν η εξέταση των στροβίλων του Καρτέσιου. Ο Νεύτων απέδειξε ότι δεν μπορεί ποτέ να προκύψει από έναν στρόβιλο ένα σύστημα πλανητών που να κινούνται σύμφωνα με τους τρεις νόμους του Κέπλερ. Ακόμα πιο εντυπωσιακό ήταν ότι τεκμηρίωσε πως ένας στρόβιλος δεν μπορεί να είναι αυτοσυντήρητο σύστημα, αλλά συνεχίζει να

κινείται ομαλά μόνον εφόσον κάποια εξωτερική δύναμη συνεχίζει να στρέφει το κεντρικό του σώμα. Όπως το εξέφρασε αργότερα, το σύστημα των στροβίλων τελεί υπό την πίεση πολλών δυσχερειών.

Αφού είχε προετοιμάσει το έδαφος στο πρώτο βιβλίο και είχε καταρρίψει το καρτεσιανό σύστημα στο δεύτερο, στο τρίτο βιβλίο ο Νεύτων στράφηκε στην εφαρμογή της δυναμικής του στο παγκόσμιο σύστημα. Η αστρονομία παρουσίαζε δύο συστήματα ενός κεντρικού σώματος που περιβάλλεται από δορυφόρους οι οποίοι υπακούουν στον τρίτο νόμο του Κέπλερ, το ηλιακό σύστημα και τον Δία με τους δορυφόρους του. Επικαλούμενος την αρχή της ομοιομορφίας συμπέρανε ότι το αντίστροφο του τετραγώνου των δυνάμεων που δρουν πρέπει να είναι της ίδιας φύσης. Ευτυχώς και γύρω από τη γη κινείται ένας δορυφόρος, αλλά σ' αυτήν την περίπτωση βέβαια μόνο ένας. Ακόμα κι αν ήταν δύο, που να κινούνται σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Κέπλερ, η απόδειξη του Νεύτωνα θα παρέμενε ελλειπής. Σκοπός του ήταν να αποδείξει όχι μόνο ότι οι δυνάμεις που διατηρούν διάφορους δορυφόρους στις τροχιές τους είναι της ίδιας φύσης, αλλά επίσης ότι είναι ίδιες με κάποια δύναμη γνωστή στον καθένα στη γη, με τη δύναμη που κάνει ένα μήλο να πέφτει στο έδαφος. Με δυο λόγια, ο νόμος της παγκόσμιας έλξης εξαρτάται από τη σχέση της κεντρομόλου επιτάχυνσης της σελήνης με την επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης – σχέση όχι προσεγγιστική όπως αυτή που είχε συναγάγει το 1666, αλλά ακριβής.

Εδώ παρουσιαζόταν ένα άλλο πρόβλημα. Όσον αφορά τον ήλιο και τους πλανήτες, φαινόταν θεμιτό να τους αντιμετωπίσει ως σημειακές μάζες, και ακόμα και στην περίπτωση της σελήνης και της γης τα σώματα δεν είναι μεγάλα σε σχέση με την απόσταση που τα χωρίζει. Το πρόβλημα εμφανίζεται με το μήλο και τη γη. Εκ πρώτης όψεως, το μήλο στο δέντρο φαίνεται να απέχει τέσσερα-πέντε μέτρα από τη γη. Η σχέση που βρήκε ο Νεύτων απαιτεί να απέχει τέσσερις χιλιάδες μίλια. Δηλαδή ο Νεύτων χρησιμοποιούσε την απόσταση του μήλου από το κέντρο της γης. (Βλ. Σχ. 8.4.) Από αυτό απορρέει η με-



ΣΧΗΜΑ 8.4. Η γη, η σελήνη και ένα μήλο. Η σχέση της κεντρομόλου επιτάχυνσης της σελήνης, που απέχει από τη γη απόσταση R , με την κεντρομόλο επιτάχυνση του μήλου απαιτεί η απόσταση του μήλου από τη γη αντί d να είναι $r + d$, που στην πράξη ισούται με r .

γάλη σημασία ενός αποσπάσματος που βρίσκεται στο πρώτο διδλίο, στο οποίο ο Νεύτων εξέταζε την έλξη των σωμάτων που αποτελούνται από έλκοντα σωμάτια. Απέδειξε ότι μια ομοιογενής σφαίρα (ή μια σφαίρα που αποτελείται από ομοιογενείς φλοιούς), η οποία απαρτίζεται από σωμάτια που έλκουν με δύναμη που μεταβάλλεται αντίστροφα προς το τετρά-

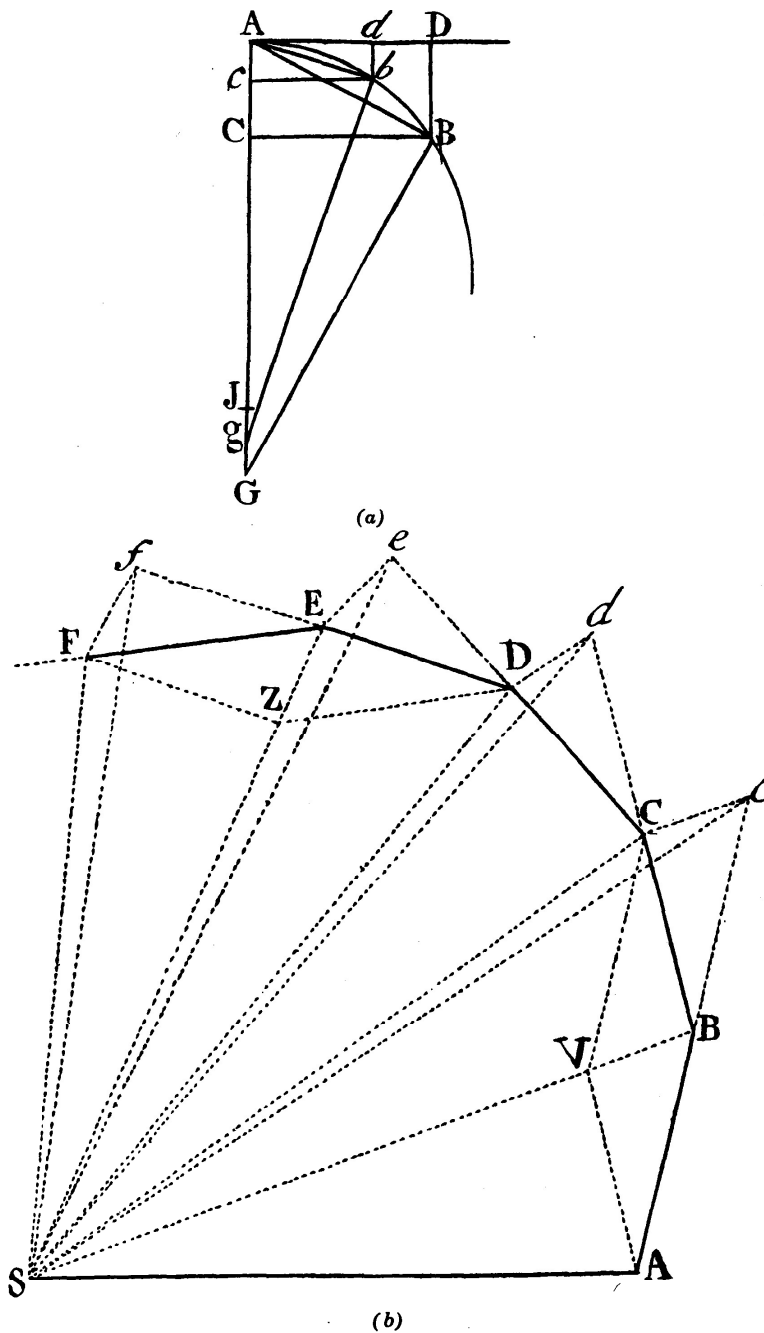
γωνο της απόστασης, έλκει οποιοδήποτε σώμα έξω από αυτή με μια δύναμη ανάλογη προς την ποσότητα της ύλης της (ή της μάζας της) και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης του σώματος από το κέντρο της. Δηλαδή, μια τέτοια σφαίρα έλκει σαν να ήταν όλη της η μάζα συγκεντρωμένη στο κεντρικό της σημείο. Μ' αυτήν την απόδειξη και με την ακριβή σχέση μεταξύ της κεντρομόλου επιτάχυνσης της σελήνης και της επιτάχυνσης της βαρύτητας, ο Νεύτων ήταν έτοιμος να διατυπώσει το νόμο της παγκόσμιας έλξης: «Ότι υπάρχει μια δύναμη βαρύτητας την οποία διαθέτουν όλα τα σώματα, ανάλογη προς τις διάφορες ποσότητες ύλης που περιέχουν». Το σύμπαν αποτελείται από σημειακές μάζες οι οποίες αλληλοέλκονται με δύναμη ανάλογη προς το γινόμενο των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης.

Έχοντας συναγάγει τον νόμο της παγκόσμιας έλξης από τις δυναμικές αναγκαιότητες που προκύπτουν από τη φύση του ηλιακού συστήματος, ο Νεύτων τον χρησιμοποίησε έπειτα στο υπόλοιπο του τρίτου βιβλίου για να εξηγήσει κι άλλα, πιο σύνθετα φαινόμενα. Κατά τη διάρκεια της ζωής του Νεύτωνα είχε καθοριστεί ότι το μήκος ενός εκκρεμούς με περίοδο ενός δευτερολέπτου είναι μικρότερο στον ισημερινό απ' ό,τι στην Ευρώπη. Ο Νεύτων συνήγαγε το φαινόμενο με ποσοτική ακρίβεια από τον νόμο της παγκόσμιας έλξης. Οι παλίρροιες προσήλκυαν από καιρό το ενδιαφέρον του επιστημονικού κόσμου. Ο Νεύτων έδειξε ότι τις προκαλούν οι έλξεις του ήλιου και της σελήνης – μια σημαντική επαλήθευση της αμοιβαιότητας της έλξης της βαρύτητας. Απ' όλα τα τότε γνωστά ουράνια σώματα η κίνηση της σελήνης παρουσίαζε τις περισσότερες ανωμαλίες. Θεωρώντας τη σώμα που έλκεται και από τη γη και από τον ήλιο, ο Νεύτων μπόρεσε να δείξει ότι τις ανωμαλίες αυτές δικαιολογεί πιθανόν ο νόμος της παγκόσμιας έλξης. Το πρόβλημα ήταν ιδιαίτερα πολύπλοκο και η σεληνιακή θεωρία του Νεύτωνα έμεινε ελλειπής. Όταν την τελειοποίησαν οι αστρονόμοι τον 18ο αιώνα αποτέλεσε σπουδαία επαλήθευση του νόμου της παγκόσμιας έλξης. Ο Νεύτων είχε μεγαλύτερη επι-

τυχία με τη μετάπτωση των ισημεριών, την αργή ταλάντωση του άξονα της γης, και η πιο μεγάλη επιτυχία του ήταν η λύση του προβλήματος των τροχιών των κομητών. Έως τον Νεύτωνα οι κομήτες φαίνονταν να αντιστέκονται στις προσπάθειες να υπαχθεί η κίνησή τους σε κάποιο νόμο. Ο Νεύτων απέδειξε ότι η κίνησή τους διέπεται από τους ίδιους νόμους της δυναμικής που διέπουν και τις κινήσεις των πλανητών.

Αν και ο Νεύτων είχε εφεύρει τον λογισμό κάπου είκοσι χρόνια πριν γράψει τις *Αρχές* και πριν τον εφεύρει και ο Λάιμπνιτς, που ασχολούνταν ανεξάρτητα με το ίδιο θέμα, δεν παρούσισε το μεγάλο έργο του σ' αυτή τη γλώσσα. Γλώσσα της επιστήμης συνέχιζε να θεωρείται η γεωμετρία και αυτή χρησιμοποιήσε. Μεταχειρίστηκε πάντως την ιδέα των τελικών λόγων και των λόγων εν τη γενέσει, που μοιάζουν από ορισμένες απόψεις με τα διαφορικά. (Βλ. Σχ. 8.5.) Οι έννοιες και τα συμπεράσματα του Νεύτωνα μπορούσαν να αποδοθούν εύκολα στη γλώσσα του λογισμού και τον 18ο αιώνα οι οπαδοί του χρησιμοποίησαν τον λογισμό του Λάιμπνιτς για να επεκτείνουν τα όρια της νευτώνειας μηχανικής.

Η έλξη της βαρύτητας όπως τη συνέλαβε ο Νεύτων διαφέρει από τις δυνάμεις μεταξύ των σωματίων που αναφέρονται στο 31ο Ερώτημα της *Οπτικής*. Οι δυνάμεις αυτές θεωρούνταν ειδικές και όχι κοινές για όλα τα σώματα, ένας τύπος ύλης που επενεργεί μόνο σε άλλη ύλη σχετική μ' αυτή, όπως ο μαγνήτης έλκει τον σίδηρο αλλά δεν έλκει τον χαλκό. Η βαρύτητα, αντίθετα, θεωρούνταν έλξη με την οποία από τη φύση της η ύλη έλκει κάθε μορφή ύλης. Ήταν κοινή σε όλα τα σώματα και γι' αυτό επιβεβαίωνε ένα βασικό δόγμα της μηχανοκρατίας, την ουσιαστική ομοιότητα κάθε μορφής ύλης. Παρ' όλα αυτά, οι μηχανοκρατικοί αισθάνονταν αμέσως ανήσυχοι μόλις υποδηλώνονταν η ύπαρξη έλξεων. Το 1687, λίγο πριν δημοσιευθούν οι *Αρχές*, ένας νεαρός Ελβετός μαθηματικός που είχε πάει στην Αγγλία και είχε γνωρίσει τον Νεύτωνα έγραψε στον Χούχενς και του ανήγγειλε ότι επρόκειτο να εκδοθεί ένα έργο περί του παγκοσμίου συστήματος. Ο Χούχενς απάντησε ότι πολύ θα ήθελε να το δει, αλλά έλπιζε ότι δεν θα ήταν άλλη μια θεωρία



ΣΧΗΜΑ 85. (α) Ο τελικός λόγος DB/AB (ή db/Ad) καθώς το D τείνει στο A και η ακτίνα GB φτάνει να συμπίπτει με την ακτίνα JA είναι μια μαθηματική έννοια παρόμοια με το διαφορικό. (β) Ένα τυπικό διάγραμμα από τις Αρχές. Σύμφωνα με τον ορισμό του προβλήματος ξεχωριστές διακριτές κεντρομόλες ωθήσεις μεταβάλλουν τη διεύθυνση του σώματος στο A , στο B , στο C , στο D , στο E και στο F . Τότε αυξάνεται και ο αριθμός των πλευρών του πολυγώνου και ο λόγος της σταθεράς κεντρομόλου δύναμης προς την ορμή στο B είναι ο τελικός λόγος του BV προς το AB όταν το πολύγωνο τείνει προς μια λεία καμπύλη.

έλξης. Δυστυχώς, αυτό ακριβώς ήταν, και οι μηχανοκρατικοί αγανάκτησαν απαυδισμένοι. Τι ήταν η έλξη της βαρύτητας; Είτε είχε μηχανική αιτία, την οποία θα έπρεπε να εξηγήσει ο Νεύτων, είτε ήταν απόκρυφη ιδιότητα, πράγμα απαράδεκτο.

Στο τέλος ο Νεύτων ενέδωσε στην κριτική σε σημείο ώστε να συμπεριλάβει άλλα οκτώ Ερωτήματα (από το 17ο ως και το 24ο) στη δεύτερη αγγλική έκδοση της *Οπτικής* το 1717, στα οποία εξηγούσε τη δράση της βαρύτητας με έναν αιθέρα που γεμίζει το σύμπαν. Ο συμβιβασμός όμως ήταν ολοφάνερος, αφού ο νέος αυτός αιθέρας αποτελούνταν από σωμάτια που αλληλοαπωθούνταν από απόσταση. Δεν μπορεί να υπάρξει σοβαρή αμφισβήτηση ότι ο Νεύτων θεωρούσε τις δυνάμεις μεταξύ των σωμάτων πραγματικές οντότητες και όχι απλώς φαινόμενες. Όταν δεχόταν να αναφερθεί στην αιτία τους τις απέδιδε απευθείας στις θεϊκές ενέργειες.

Παραμένει ωστόσο το ερώτημα τι ήταν αυτό που έπεισε τον Νεύτωνα να δεχθεί μια νέα κατηγορία στην οντολογία του μηχανοκρατικού σύμπαντος, και η απάντηση πρέπει να συνδέεται κυρίως με το επιστημονικό του ιδεώδες. Μερικές επιστολές που ανταλλάχθηκαν λίγο μετά το 1690 μεταξύ του Χούχενς και του Λάιμπνιτς, στις οποίες συζητούσαν τη θεωρία του Νεύτωνα, ρίχνουν κάποιο φως στις διαφορές τους από τον Νεύτωνα. Οι πλανήτες δεν κινούνται απλώς σε ελλείψεις, έλεγε ο Λάιμπνιτς, αλλά επιπλέον κινούνται όλοι στο ίδιο επίπεδο στην ίδια κατεύθυνση γύρω από τον ήλιο. Με τη θεωρία του Νεύτωνα θα έπρεπε να μπορούν να κινούνται σε οποιοδήποτε επίπεδο σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, άρα εν μέρει είναι αναγκαίο να καταφύγει κανείς στον στρόβιλο, που μπορεί και εξηγεί αυτά τα πράγματα. Οι επιστολές του Λάιμπνιτς επαναλάμβαναν τη βασική πεποίθηση της μηχανοκρατίας, ότι το σύμπαν είναι διαπερατό από την ανθρώπινη διάνοια. Αντίθετα, ο νόμος της παγκόσμιας έλξης φαινόταν να επιβάλλει ένα αδιαπέραστο παραπέτασμα που εμπόδιζε την κατανόησή του από ένα σημείο και πέρα. Δεκαπέντε χρόνια πριν από τις *Αρχές*, η απάντηση του Χούχενς στη μελέτη του Νεύτωνα για τα χρώματα είχε προβάλει τις ίδιες επικρίσεις, ότι ο Νεύτων έδειχνε

απλώς πως οι ακτίνες που δημιουργούν το αίσθημα ενός χρώματος διαθλώνται διαφορετικά από αυτές που δημιουργούν το αίσθημα κάποιου άλλου, αλλά δεν εξηγούσε ποιες είναι οι διαφορές στο χρώμα. Το βασικό επίμαχο θέμα ανάμεσα στον Νεύτωνα και τους παραδοσιακούς μηχανοκρατικούς ήταν η προθυμία του να χρησιμοποιήσει ένα επιστημονικό ιδεώδες που αποδεχόταν εν τέλει το ανεξιχνίαστο της φύσης.

Η έννοια της δύναμης ξεκαθάρισε ποια ήταν τα κεντρικά θέματα του επιστημονικού του ιδεώδους. Στο 31ο Ερώτημα, που δημοσιεύθηκε αρχικά το 1706, ο Νεύτων απάντησε στην κατηγορία ότι επανέφερε τις απόκρυφες ιδιότητες.

«Δεν θεωρώ αυτές τις αρχές απόκρυφες ιδιότητες που υποτίθεται ότι προκύπτουν από τις ιδιαίτερες μορφές των πραγμάτων, αλλά γενικούς νόμους της φύσης, σύμφωνα με τους οποίους διαμορφώνονται και τα πράγματα· η αλήθειά τους εμφανίζεται σ' εμάς με τα φαινόμενα, αν και οι αιτίες τους δεν έχουν αποκαλυφθεί ακόμα. Γιατί αυτές είναι γνωστές ιδιότητες και μόνο οι αιτίες τους είναι απόκρυφες. Το να μας λένε ότι κάθε είδος πραγμάτων είναι προικισμένο με μια απόκρυφη ιδιαίτερη ιδιότητα με την οποία δρα και προκαλεί γνωστά αποτελέσματα, είναι σαν να μη μας λένε τίποτα· αλλά το να συνάγουν δυο ή τρεις γενικές αρχές της κίνησης από τα φαινόμενα και έπειτα να μας πουν πώς προκύπτουν οι ιδιότητες και η δράση όλων των υλικών πραγμάτων από αυτές τις γνωστές αρχές, θα ήταν ένα πολύ μεγάλο δῆμα στη φιλοσοφία, έστω και αν δεν είχαν ανακαλυφθεί ακόμα οι αιτίες αυτών των αρχών· και άρα δεν διαστάζω να προτείνω τις ανωτέρω αρχές της κίνησης, αφού είναι πολύ γενικής έκτασης, και να αφήσω να βρεθούν οι αιτίες τους.»

Στο Γενικό Σχόλιο, που δημοσιεύτηκε το 1713 στο τέλος της δεύτερης έκδοσης των *Αρχών*, ο Νεύτων εξέφρασε την ίδια άποψη με την κλασική της μορφή. Ός τότε, είπε, είχε εξηγήσει τα φαινόμενα με τη βαρύτητα, αλλά δεν είχε εξηγήσει την αι-

τία της βαρύτητας.

«Αλλά ως τώρα δεν είχα μπορέσει να ανακαλύψω την αιτία αυτών των ιδιοτήτων της βαρύτητας από τα φαινόμενα, και υποθέσεις δεν κάνω· γιατί οτιδήποτε δεν συνάγεται από τα φαινόμενα πρέπει να ονομάζεται υπόθεση· και οι υποθέσεις, είτε είναι μεταφυσικές είτε φυσικές, είτε είναι των απόκρυφων ιδιοτήτων είτε μηχανικές, δεν έχουν θέση στην πειραματική φιλοσοφία».

Υποθέσεις δεν κάνω – *hypotheses non fingo*. Με μια έννοια τα λόγια είναι ολοφάνερα ανακριδή. Ο Νεύτων έκανε υποθέσεις, και μάλιστα υπερβολικές. Με την έννοια όμως ότι κράτησε έναν αυστηρό διαχωρισμό ανάμεσα στα αποδεδειγμένα συμπεράσματα και στις υποθέσεις που είχαν σκοπό να τα εξηγήσουν και ότι αρνήθηκε να αποδυναμώσει τις αποδείξεις με εικασίες, η δήλωση μπορεί να γίνει αποδεκτή. Έτσι, για τον Νεύτωνα η δύναμη ήταν έννοια αναγκαία για την περιγραφή των φαινομένων με μηχανικούς όρους. Η ορθότητά της βασιζόταν στη χρησιμότητά της στις αποδείξεις και όχι σε υποθέσεις που θα μπορούσαν να εξηγήσουν την προέλευσή της.

Ο Νεύτων πίστευε ότι η φύση είναι εν τέλει αδιαπέραστη από την ανθρώπινη διάνοια και ότι η επιστήμη δεν μπορεί να ελπίζει ότι θα γνωρίσει με βεβαιότητα το είναι των πραγμάτων. Αυτή όμως ήταν βασική αρχή της μηχανοκρατικής φιλοσοφίας του 17ου αιώνα και η συνεχής τάση των μηχανοκρατών να φαντάζονται αόρατους μηχανισμούς πρόβαλε από την πεποίθηση ότι μια επιστημονική εξήγηση είναι έγκυρη μόνο όταν ανάγει τα φαινόμενα σε θεμελιώδεις οντότητες. Για τον Νεύτωνα, αντίθετα, η φύση ήταν κάτι δεδομένο, και μερικές πλευρές της ίσως να μην γίνονταν ποτέ κατανοητές. Όταν μπόρεσαν να δεχτούν τον ίδιο περιορισμό και άλλες επιστήμες, όπως η οπτική, η χημεία και η βιολογία, έπαψαν κι αυτές να παίζουν με φανταστικούς μηχανισμούς και, περιγράφοντας αντί να εξηγούν, διαμόρφωσαν αντιλήψεις κατάλληλες για τα φαινόμενά τους. Ο Νεύτων πίστευε ότι στόχος της φυσικής εί-

ναι η ακριβής περιγραφή των φαινομένων της κίνησης με ποσοτικούς όρους. Έτσι, η έννοια της δύναμης μπορούσε να γίνει δεκτή στις επιστημονικές αποδείξεις ακόμα κι αν δεν είχε γίνει κατανοητή η βασική υπόσταση της δύναμης. Στο έργο του Νεύτωνα η δύναμη έκανε δυνατό τον συμβιβασμό ανάμεσα στην παράδοση της μαθηματικής περιγραφής, που την εκπροσωπούσε ο Γαλιλαίος, και στην παράδοση της μηχανοκρατίας, που την εκπροσωπούσε ο Καρτέσιος. Ενώνοντάς τες ο Νεύτων ανέδειξε το επιστημονικό έργο του 17ου αιώνα σε επίτευγμα τόσο μεγάλο ώστε να κάνει τους ιστορικούς να μιλούν για επιστημονική επανάσταση. Η σύγχρονη επιστήμη συνεχίζει να ακολουθεί τη δημιουργική πορεία της μέσα στα πλαίσια που εδραιώθηκαν μ' αυτό τον τρόπο.