

## Πρόλογος

*Η γέννηση μιας νέας φυσικής έχει γραφτεί για τον γενικό αναγνώστη, για μαθητές Λυκείου και φοιτητές (που σπουδάζουν θετικές επιστήμες, φιλοσοφία ή ιστορία), για ιστορικούς και φιλοσόφους, και για οποιονδήποτε θα ήθελε να κατανοήσει τη δυναμική και περιπετειώδη φύση της επιστήμης. Ελπίζω ότι και οι επιστήμονες θα ικανοποιηθούν και θα ωφεληθούν μαθαίνοντας για τα διάφορα στάδια που οδήγησαν στο αποκορύφωμα της Επιστημονικής Επανάστασης, τη δημιουργία της νευτώνειας μηχανικής και της ουράνιας μηχανικής.*

Σκοπός αυτού του βιβλίου δεν είναι πρωτίστως να παρουσιάσει μια εκλαϊκευμένη ιστορία της επιστήμης, ούτε να παρουσιάσει στον γενικό αναγνώστη μερικά από τα πρόσφατα αποτελέσματα της έρευνας στην ιστορία της επιστήμης. Η πρόθεσή μου είναι περισσότερο να διερευνηθεί μια όψη αυτής της μεγάλης Επιστημονικής Επανάστασης που συντελέστηκε κατά τον 16ο και τον 17ο αιώνα, να αποσαφηνιστούν ορισμένες θεμελιώδεις πτυχές της φύσης και της ανάπτυξης της σύγχρονης επιστήμης. Ένα σημαντικό θέμα είναι η επίδραση της στενά διαπλεγμένης δομής των φυσικών επιστημών στη διαμόρφωση μιας επιστήμης της κίνησης. Από τον 17ο αιώνα, έχουμε δει επανειλημμένα ότι οποιαδήποτε σημαντική τροποποίηση σε κάποιο τομέα των φυσικών επιστημών προκαλεί τελικά αλλαγές σε όλη την επιστήμη. Μια άλλη συνέπεια είναι πως αποδεικνύεται εν γένει αδύνατο να ελεγχθεί ή να αποδειχθεί μια επιστημονική πρόταση απομονωμένα, καθώς κάθε έλεγχος αποτελεί περισσότερο μια επαλήθευση της συγκεκριμένης πρότασης μαζί με ολόκληρο το σύστημα των φυσικών επιστημών.

Το βασικό, ίσως και μοναδικό, χαρακτηριστικό της σύγχρονης επιστήμης είναι η δυναμική διάστασή της, ο τρόπος με τον οποίο συμβαίνουν διαρκώς αλλαγές. Δυστυχώς, οι ανάγκες της λογικής παρουσίασης στα βασικά εγχειρίδια και στα γενικά έργα περί επιστήμης δεν επιτρέπουν στον σπουδαστή και τον αναγνώστη να αποκτήσει πραγματική ιδέα αυτής της ιδιαίτερα δυναμικής ιδιότητας. Συνεπώς, ένας άλλος από τους βασικούς στόχους αυτού του βιβλίου είναι να προσπαθήσει να επισημάνει τη διεισδυτική δύναμη και τη βαθιά επίδραση που μπορεί να έχει μια απλή ιδέα αλλάζοντας όλη τη δομή της επιστήμης.

Καθώς αυτό το βιβλίο δεν αποτελεί μια ιστορία της επιστήμης αλλά περισσότερο μια ιστορική πραγματεία για ένα μείζον κεφάλαιο στην ανάπτυξη της επιστήμης, δεν μελετά πλήρως κάθε πτυχή της ανάπτυξης της σύγχρονης δυναμικής ή αστρονομίας. Για παράδειγμα, η μεταρρύθμιση της παρατηρησιακής αστρονομίας από τον Τύχο Μπράχε αναφέρεται μόνο ακροθιγώς· το ίδιο και η αντίληψη του Κέπλερ για την κίνηση και τα αίτιά της. Ένα ζήτημα που δεν εξετάζεται καθόλου είναι το σύστημα της καρτεσιανής σκέψης, συμπεριλαμβανομένης της έννοιας ενός κοσμολογικού συστήματος βασισμένου σε στροβίλους. Από πολλές απόψεις, η καρτεσιανή επιστήμη αντιπροσωπεύει το πιο επαναστατικό τμήμα της νέας επιστήμης του 17ου αιώνα. Άλλες σημαντικές μορφές των οποίων το έργο θα έπρεπε να περιλαμβάνεται σε μια πλήρη ιστορία είναι ο Christiaan Huygens και ο Robert Hooke.

Θα ήθελα να αναγνωρίσω την πνευματική μου οφειλή στον Alexandre Koyré της Ecole Pratique des Hautes Etudes (Παρίσι) και του Institute for Advanced Study (Princeton), τον δάσκαλό μας στην επιστημονική τέχνη της ιστορικής εννοιολογικής ανάλυσης. Η Majorie Hope Nicolson (Πανεπιστήμιο Columbia) μας έχει κάνει να συνειδητοποιήσουμε την τεράστια διανοητική σημασία της «νέας αστρονομίας» και ειδικότερα των τηλεσκοπικών ανακαλύψεων του Γαλιλαίου. Για περισσότερο από μία δεκαετία, προς μεγάλη μου χαρά και ωφέλεια, είχα τη δυνατότητα να συζητήσω πολλά από τα προβλήματα της μεσαιωνικής επιστήμης με τον Marshall Clagett

(Πανεπιστήμιο του Winsconsin και Institute for Advanced Study), και πιο πρόσφατα με τον John E. Murdoch (Πανεπιστήμιο Harvard) και τον Edward Grant (Πανεπιστήμιο της Indiana). Εδώ και περίπου τέσσερις δεκαετίες έχει σταθεί ευεργετική για μένα η κριτική του Edward Rosen (Πανεπιστήμιο City της Νέας Υόρκης), καθώς και οι εμπριθείς συμβουλές του. Πιο πρόσφατα, απέκτησα νέα βαθύτερη κατανόηση για την κοπερνίκεια επιστήμη χάρις στον Noel Swerdlow (Πανεπιστήμιο του Σικάγου). Έχω μάθει πολλά για την ιστορία και την αρχική χρήση του τηλεσκοπίου από τον Albert Van Helden (Πανεπιστήμιο Rice). Είμαι ιδιαίτερα υπόχρεος στον Stillman Drake, που μου έχει δείξει ιδιαίτερη γενναιοδωρία για πολλά χρόνια επιτρέποντάς μου να δω τις δημοσιεύστες μελέτες του για τον Γαλιλαίο κι απαντώντας στις ερωτήσεις μου. Έχει διαβάσει επίσης το δακτυλογραφημένο κείμενο αυτού του βιβλίου σαν κριτικός αναγνώστης, πρώτα στην αρχική έκδοση 25 χρόνια πριν, και τώρα άλλη μια φορά στην αναθεωρημένη έκδοσή του.

Η πρώτη έκδοση του *Η γέννηση μιας νέας φυσικής*, αφιερωμένη στην κόρη μου Dr. Frances B. Cohen, είχε γραφτεί για τη σειρά Science Study Series, μέρος μιας νέας προσέγγισης στη διδασκαλία, τη μελέτη και την κατανόηση της φυσικής, η οποία δημιουργήθηκε από την Επιτροπή Μελέτης της Φυσικής Επιστήμης, με επικεφαλής τον Jerrold Zacharias και τον αείμνηστο Francis L. Friedman του M.I.T. Η προετοιμασία αυτής της έκδοσης διευκολύνθηκε με κάθε δυνατό τρόπο από το προσωπικό της επιτροπής αυτής (ιδιαίτερα τον Bruce Kingsbury). Ειδικότερα, βρήκα στο πρόσωπο του John H. Durston έναν φιλικό εκδότη ο οποίος με βοήθησε να μειώσω τον κόπο μου σε επίπεδα που μπορούσα να διαχειριστώ. Δεν παύει να με ευχαριστεί το γεγονός ότι τις φωτογραφίες στις Εικόνες VI και VII τράβηξε ειδικά για αυτό το βιβλίο η παλιά δασκάλα μου και πρώην μαθήτριά μου Berenice Abbott, μια από τις καλύτερες Αμερικανίδες φωτογράφους.

Η πρώτη έκδοση έχει τυπωθεί και ανατυπωθεί πολλές φορές και έχει μεταφραστεί στα δανέζικα, στα φινλανδικά, στα γαλλικά, στα γερμανικά, στα εβραϊκά, στα ιταλικά, στα ιαπωνικά, στα πο-

λωνικά, στα ισπανικά, στα σουηδικά και στα τουρκικά. Η πιο πρόσφατη από αυτές τις εκδόσεις, στα ιταλικά, έχει αναθεωρηθεί και διορθωθεί σημαντικά (ορισμένες από τις διορθώσεις τις επισήμανε ο Edward Rosen). Τώρα, μετά από ένα διάστημα περίπου 25 ετών, το βιβλίο έχει ενημερωθεί ώστε να περιλαμβάνει πρόσφατες εξελίξεις και ανακαλύψεις στην ιστορία της επιστήμης, κυρίως όσον αφορά τον Γαλιλαίο, αλλά και τον Νεύτωνα. Μεγάλο μέρος των διορθώσεων και της νέας ύλης έχει εισαχθεί στο κείμενο, ωστόσο άλλα τμήματα αυτής της ύλης θα προκαλούσαν σημαντικές ανισορροπίες και θα κατέστρεφαν τον αφηγηματικό ρυθμό του αρχικού κειμένου. Για τον λόγο αυτό, τα τελευταία έχουν ενσωματωθεί σε μια σειρά αριθμημένων παραρτημάτων στα οποία παραπέμπει το κείμενο, και τα οποία επικεντρώνονται σε ορισμένα κρίσιμα ζητήματα επιστημοσύνης και κατανόησης απαραίτητα για μια ισορροπημένη κρίση σχετικά με κάποια από τα πιο σημαντικά επεισόδια της διαδικασίας γέννησης της σύγχρονης φυσικής επιστήμης.

Πέρα από τα παραρτήματα, η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ της πρώτης έκδοσης και της παρούσας αφορά την πραγμάτευση του Γαλιλαίου. Στο διάστημα που μεσολάβησε μεταξύ των δύο εκδόσεων, μάθαμε (αρχικά χάρις στην τολμηρή αναπαραγωγή ενός από τα πιο φημισμένα πειράματα του Γαλιλαίου από τον Thomas B. Settle) ότι τα πειράματα που περιέγραψε ο Γαλιλαίος μπορούν πράγματι να δώσουν τα αποτελέσματα που ισχυρίστηκε ότι έδωσαν. Το γεγονός αυτό έχει προκαλέσει μια σημαντική μετατόπιση των απόψεων των ακαδημαϊκών. Δεν πιστεύουμε πλέον ότι ο Γαλιλαίος περιέγραφε συνήθως μόνο «νοητικά πειράματα», τα οποία είτε δεν εκτέλεσε ποτέ είτε δεν μπορούσε να εκτελέσει με τον τρόπο που περιέγραψε. Απεναντίας, ο Γαλιλαίος αντιμετωπίζεται πλέον ως δεξιότηνης της πειραματικής τέχνης. Επιπρόσθετα, χάρις κατά μέγιστο βαθμό στις ακαδημαϊκές προσπάθειες του Stillman Drake, έχουμε μάθει για την καίρια σημασία των πειραμάτων στη διατύπωση και τον έλεγχο (ακόμα και στην ανακάλυψη) από τον Γαλιλαίο των βασικών ιδεών του για τις αρχές της κίνησης.

Είμαι πολύ χαρούμενος που αυτή η νέα έκδοση εκδίδεται από τον οίκο W. Norton & Company. Είμαι ευγνώμων στον αντιπρό-

εδρο Edwin Barber, για το ενδιαφέρον του για το έργο μου. Είναι καλό να γνωρίζουμε ότι στον κόσμο των εκδόσεων και των βιβλιοπωλείων υπάρχει ακόμα θέση για έναν πραγματικό εκδότη της «παλιάς εποχής» που του αρέσουν τα βιβλία και οι συγγραφείς.

I. Bernard Cohen  
*Πανεπιστήμιο Harvard*  
*Cambridge, Mass.*  
*18 Σεπτεμβρίου 1984*

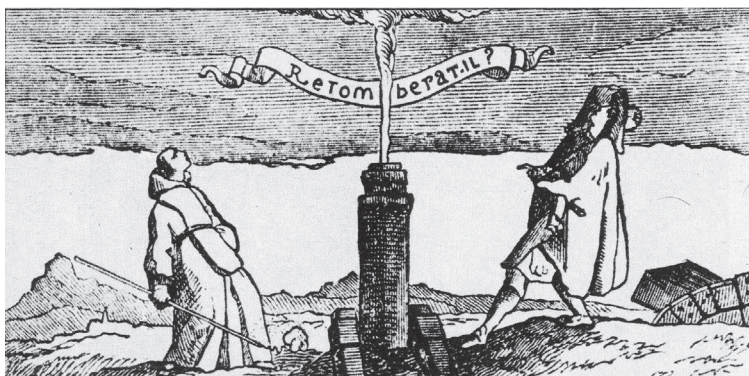
## Η φυσική της κινούμενης Γης

Όσο παράξενο κι αν ακούγεται, οι απόψεις των περισσότερων για την κίνηση ανήκουν σε ένα σύστημα φυσικής που προτάθηκε πριν από περισσότερα από 2000 χρόνια και αποδείχθηκε πειραματικά ότι είναι ανεπαρκές πριν από τουλάχιστον 1400 χρόνια. Είναι γεγονός ότι αρκετοί μορφωμένοι άνθρωποι τείνουν ακόμα και σήμερα να σκέφτονται για τον φυσικό κόσμο σαν να είναι η Γη ακίνητη, και όχι σαν να κινείται. Με αυτό δεν εννοώ ότι αυτοί οι άνθρωποι πιστεύουν «πραγματικά» ότι η Γη είναι ακίνητη. Αν ερωτηθούν, θα απαντήσουν ότι φυσικά και «ξέρουν» ότι η Γη κάνει κάθε μέρα μία περιστροφή γύρω από τον άξονά της κι ότι την ίδια στιγμή διαγράφει μια μεγάλη ετήσια τροχιά γύρω από τον Ήλιο. Εντούτοις, όταν τους ζητηθεί να εξηγήσουν ορισμένα συνήθη φυσικά φαινόμενα, αυτοί οι ίδιοι άνθρωποι δεν μπορούν να πουν πώς μπορούν να συμβούν αυτά τα καθημερινά φαινόμενα, όπως τα βλέπουμε να συμβαίνουν, σε μια κινούμενη Γη. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι παρανοήσεις της φυσικής συνήθως επικεντρώνονται στο πρόβλημα των σωμάτων που πέφτουν, στη γενική έννοια της κίνησης. Έχουμε λοιπόν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του παλιού κανόνα «Όποιος δεν κατανοεί την κίνηση, δεν κατανοεί τη φύση».

*Πού θα πέσει;*

Ο μέσος άνθρωπος, αδυνατώντας να αντιμετωπίσει ερωτήματα για την κίνηση σε σχέση με την κινούμενη Γη, βρίσκεται στην ίδια θέση

με μερικούς από τους μεγαλύτερους επιστήμονες του παρελθόντος, πράγμα που είναι ίσως αρκετά παρήγορο. Η βασική διαφορά, ωστόσο, είναι ότι για τους επιστήμονες του παρελθόντος η αδυναμία να απαντήσουν σε αυτά τα ερωτήματα αποτελούσε χαρακτηριστικό της εποχής τους, ενώ για τη δική μας εποχή μια τέτοια ανικανότητα είναι, αλίμονο, σημάδι άγνοιας. Χαρακτηριστική αυτών των προβλημάτων είναι μια γκραβούρα του 17ου αιώνα (Εικόνα Ι) στην οποία ένα κανόνι φαίνεται να στοχεύει ψηλά στον ουρανό. Παρατηρήστε το ερώτημα που τίθεται: «*Retombera-t-il?*» («Θα πέσει πάλι κάτω;»). Εάν η Γη είναι ακίνητη, δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι η οβίδα που εκτοξεύεται προς τα πάνω θα πρέπει τελικά να επιστρέψει κατευθείαν μέσα στο κανόνι. Θα επιστρέψει όμως εάν η Γη κινείται; Και εάν ναι, γιατί; Στην πραγματικότητα, η εικόνα φανερώνει ένα ακόμα πιο περίπλοκο πρόβλημα της κίνησης. Εδώ αρκεί να σημειώσουμε ότι η φύση της τροχιάς ενός σώματος ή ενός βλήματος που εκτοξεύεται κατακόρυφα προς τα πάνω ή αφήνεται να πέσει κατακόρυφα προς τα κάτω είχε από νωρίς εκληφθεί ως ένα από τα διανοητικά εμπόδια για την αποδοχή της ιδέας ότι η Γη κινείται.



ΕΙΚΟΝΑ Ι. «Θα πέσει ξανά κάτω;». Αυτή η παλιά ξυλογραφία από την αλληλογραφία του Καρτέσιου δείχνει ένα πείραμα που είχε προταθεί από τον Πατέρα Mersenne, σύγχρονο και φίλο του Γαλιλαίου, για να ελεγχθεί η συμπεριφορά των σωμάτων που πέφτουν. Η επιγραφή θέτει το ερώτημα «*Retombera-t-il?*». Θα πέσει ξανά κάτω η οβίδα;

Ας υποθέσουμε ότι η Γη κινείται. Τότε, ένα βέλος που ρίχνεται προς τα πάνω πρέπει να κινηθεί μαζί με τη Γη καθώς ανέρχεται και μετά καθώς κατέρχεται. Διαφορετικά, θα έπεφτε στη Γη μακριά από το σημείο που βρίσκεται ο τοξότης. Μια πρόχειρη παραδοσιακή απάντηση είναι ότι ο αέρας πρέπει να κινείται μαζί με τη Γη, και συνεπώς συμπαρασύρει το ανερχόμενο ή κατερχόμενο βέλος. Όμως οι αντίπαλοι αυτής της άποψης είχαν έτοιμη μια άλλη απάντηση: Ακόμα κι αν μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι ο αέρας κινείται –μια δύσκολη υπόθεση από τη στιγμή που δεν υπάρχει εμφανής λόγος να κινείται ο αέρας μαζί με τη Γη– δεν θα κινούνταν πολύ πιο αργά από τη Γη, αφού έχει τόσο διαφορετική ούσταση και ιδιότητες; Συνεπώς, σε κάθε περίπτωση, δεν θα έμενε το βέλος πίσω; Και τι θα μπορούσαμε να πούμε για τους ισχυρούς ανέμους που θα έπρεπε να νιώθει κάποιος πάνω σε έναν πύργο εάν η Γη κινούνταν στο διάστημα;

Για να αντιληφθούμε καλύτερα τα παραπάνω προβλήματα, ας ξεχάσουμε για μια στιγμή τη Γη. Σε τελική ανάλυση, ο μέσος άνθρωπος μπορεί κάλλιστα να ισχυριστεί: Ίσως να μην μπορώ να εξηγήσω *πώς* μια μπάλα που αφήνεται να πέσει από έναν πύργο θα συναντήσει το έδαφος στη βάση του πύργου ακόμη κι αν η Γη κινείται. Όμως, *γνωρίζω* ότι μια μπάλα που αφήνεται να πέσει πέφτει κατακόρυφα, και επίσης *γνωρίζω* ότι η Γη κινείται. Άρα *πρέπει* να υπάρχει κάποια εξήγηση, ακόμα κι αν δεν ξέρω ποια είναι.

Ας ασχοληθούμε λοιπόν με μια εντελώς διαφορετική κατάσταση. Απλά υποθέστε ότι μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα όχημα το οποίο μπορεί να κινείται πολύ γρήγορα – τόσο γρήγορα ώστε η ταχύτητά του να φτάνει τα 20 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο. Ένας παρατηρητής στέκεται στην άκρη του οχήματος, σε μια πλατφόρμα παρατήρησης στο τελευταίο βαγόνι, εάν το όχημα είναι τρένο. Ενώ το τρένο τρέχει με ταχύτητα 20 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο, ο παρατηρητής βγάζει από την τσέπη του μια σιδερένια μπάλα που ζυγίζει περίπου ένα κιλό και την πετάει κατακόρυφα προς τα πάνω σε ύψος 5 μέτρα. Η άνοδος διαρκεί περίπου ένα δευτερόλεπτο, ενώ η μπάλα χρειάζεται άλλο ένα δευτερόλεπτο για να πέσει. Πόσο έχει μετακινηθεί ο άνθρωπος στο άκρο του τρένου; Αφού η ταχύτητά



του είναι 20 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο, θα έχει απομακρυνθεί 40 χιλιόμετρα από το σημείο όπου πέταξε την μπάλα στον αέρα.

Η κατάσταση μας είναι παρόμοια με εκείνη του ανθρώπου που ζωγράφισε την εικόνα του κανονιού που εκτοξεύει μια οβίδα στον αέρα. Ρωτάμε: Πού θα πέσει; Θα πέσει στις ράγες του τρένου, στο σημείο (ή πολύ κοντά στο σημείο) από το οποίο εκτοξεύθηκε; Ή θα «καταφέρει» με κάποιον τρόπο να πέσει τόσο κοντά στα χέρια του ανθρώπου που την πέταξε ώστε να μπορεί να την πιάσει, μολονότι το τρένο του κινείται με 20 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο; Εάν απαντήσετε ότι η μπάλα θα πέσει στις ράγες μερικά χιλιόμετρα πίσω από το τρένο, τότε είναι φανερό ότι δεν κατανοείτε τη φυσική της κινούμενης Γης. Εάν όμως πιστεύετε ότι ο άνθρωπος στο πίσω μέρος του τρένου θα πιάσει την μπάλα, τότε θα πρέπει να απαντήσετε στην ερώτηση: Ποια «δύναμη» υποχρεώνει την μπάλα να κινηθεί προς τα μπροστά με ταχύτητα 20 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο, παρότι ο άνθρωπος που την πέταξε της άσκησε δύναμη με κατεύθυνση προς τα πάνω και όχι κατά μήκος της τροχιάς; (Όσοι ανησυχούν για την ενδεχόμενη επίδραση της τριβής του αέρα, μπορούν να σκεφτούν ότι το πείραμα διεξάγεται μέσα σε ένα σφραγισμένο βαγόνι του τρένου.)

Η πεποίθηση ότι μια μπάλα που εκτοξεύεται κατευθείαν προς τα πάνω από το κινούμενο τρένο θα συνεχίσει να κινείται κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής προς τα πάνω και προς τα κάτω, έτσι ώστε να συναντήσει τις ράγες σε ένα σημείο πολύ πίσω από το τρένο, συνδέεται στενά με μια άλλη πεποίθηση για τα κινούμενα αντικείμενα. Και οι δύο πεποιθήσεις είναι μέρος ενός συστήματος φυσικής ηλικίας περίπου 2000 ετών. Ας εξετάσουμε αυτό το δεύτερο πρόβλημα για λίγο, γιατί οι άνθρωποι που δεν κατανοούν πώς τα σώματα φαίνεται να πέφτουν κατακόρυφα σε μια κινούμενη Γη δεν είναι επίσης εντελώς σίγουροι για το τι συμβαίνει όταν πέφτουν σώματα διαφορετικού βάρους. Όλοι γνωρίζουν, φυσικά, ότι η πτώση ενός σώματος μέσα στον αέρα εξαρτάται από το σχήμα του. Αυτό μπορεί να δειχθεί εύκολα εάν φτιάξετε ένα αλεξίπτωτο με ένα μαντίλι, δένοντας τις τέσσερις γωνίες του μαντιλιού με τέσσερις κλωστές και κατόπιν δένοντας όλες τις κλωστές σε ένα

μικρό βάρος. Τυλίξτε αυτό το αλεξίπτωτο σαν μια μικρή μπάλα, πετάξτε το ψηλά στον αέρα και θα παρατηρήσετε ότι θα πέσει αργά προς τα κάτω. Στη συνέχεια τυλίξτε το πάλι σαν μπάλα, πάρτε ένα κομμάτι κλωστή και δέστε την γύρω από το μαντίλι και το βάρος, έτσι ώστε το μαντίλι να μην μπορεί να ανοίξει στον αέρα· όπως θα παρατηρήσετε, το ίδιο αντικείμενο θα πέσει γρήγορα προς τα κάτω. Δηλαδή, σώματα που έχουν το ίδιο βάρος αλλά διαφορετικό σχήμα πέφτουν με διαφορετικές ταχύτητες. Αλλά τι συμβαίνει με αντικείμενα που έχουν το ίδιο σχήμα αλλά διαφορετικό βάρος; Υποθέστε ότι βρισκόσαστε στην κορυφή ενός ψηλού πύργου ή στον τρίτο όροφο ενός σπιτιού και ότι ετοιμάζεστε να αφήσετε από αυτό το ύψος δύο αντικείμενα ίδιου σχήματος, δύο σφαιρικές μπάλες, που ζυγίζουν η μια 10 κιλά και η άλλη 1 κιλό. Ποια από τις δύο θα φτάσει πρώτη στο έδαφος; Και πόσο νωρίτερα θα φτάσει σε σχέση με την άλλη μπάλα; Εάν η σχέση μεταξύ των δύο βαρών –στην περίπτωση μας ο λόγος 10 προς 1– έχει σημασία, τότε θα παρατηρούσαμε άραγε την ίδια διαφορά στον χρόνο πτώσης εάν τα βάρη τους ήταν 10 και 100 κιλά αντίστοιχα; Και εάν ήταν 1 χιλιοστογραμμάριο και 10 χιλιοστογραμμάρια;

### *Εναλλακτικές απαντήσεις*

Η συνήθης πορεία της γνώσης της φυσικής είναι σε γενικές γραμμές η εξής: Αρχικά, υπάρχει η πεποίθηση ότι εάν δύο μπάλες με βάρη 1 και 10 κιλά αντίστοιχα αφεθούν να πέσουν ταυτόχρονα, η μπάλα των 10 κιλών θα φτάσει πρώτη στο έδαφος, και η μπάλα του 1 κιλού θα χρειαστεί δέκα φορές περισσότερο χρόνο από εκείνον της μπάλας των 10 κιλών για να φτάσει στο έδαφος. Κατόπιν ακολουθεί ένα στάδιο μεγαλύτερης ανάλυσης, στο οποίο ο φοιτητής έχει πιθανότατα μάθει από κάποιο εγχειρίδιο ότι το προηγούμενο συμπέρασμα είναι αβάσιμο, ότι η «πραγματική» απάντηση είναι ότι και οι δύο μπάλες θα φτάσουν στο έδαφος την ίδια στιγμή ανεξάρτητα από το βάρος τους. Η πρώτη απάντηση μπορεί να ονομαστεί «αριστοτελική», διότι ταιριάζει με τις αρχές της φυσικής που διατύπωσε ο Έλληνας φιλόσοφος Αριστοτέλης 350 περίπου

χρόνια πριν από την αρχή της χριστιανικής εποχής. Η δεύτερη αποτελεί παράδειγμα της άποψης του «βασικού εγχειριδίου», διότι τη συναντά κανείς σε πολλά τέτοια βιβλία. Μερικές φορές, μάλιστα, λέγεται ότι αυτή η δεύτερη άποψη «αποδείχθηκε» τον 17ο αιώνα από τον Ιταλό επιστήμονα Γαλιλαίο. Σύμφωνα με τη συνήθη εκδοχή της ιστορίας, ο Γαλιλαίος «άφησε μπάλες διαφορετικού μεγέθους και σύστασης να πέσουν ταυτόχρονα από την κορυφή του Κεκλιμένου Πύργου της Πίζας. Όλοι [οι φίλοι και οι συνεργάτες του] είδαν τις μπάλες να ξεκινούν μαζί και να πέφτουν μαζί, και τις άκουσαν να χτυπούν στο έδαφος μαζί. Μερικοί πείστηκαν, άλλοι γύρισαν πίσω στα δωμάτιά τους να συμβουλευτούν τα έργα του Αριστοτέλη, συζητώντας τις ενδείξεις».

Τόσο η αριστοτελική όσο και η άποψη του «βασικού εγχειριδίου» είναι λανθασμένες, όπως έχει αποδειχθεί από πειράματα πριν από τουλάχιστον 1400 χρόνια. Ας πάμε πίσω στον 6ο αιώνα μ.Χ., όταν ο Ιωάννης ο Φιλόπονος (ή Ιωάννης ο Γραμματικός), ένας βυζαντινός λόγιος, μελετούσε αυτό το ερώτημα. Ο Φιλόπονος ανέφερε ότι η εμπειρία αντικρούει τις κρατούσες απόψεις για την πτώση των σωμάτων. Υιοθετώντας μια στάση που θα τη λέγαμε μάλλον «μοντέρνα», υποστήριξε ότι ένα επιχείρημα βασισμένο στην «πραγματική παρατήρηση» είναι πολύ πιο ουσιαστικό από «κάθε είδους λεκτικό επιχείρημα». Ιδού το επιχείρημά του με βάση το πείραμα:

Διότι αν αφήσετε να πέσουν από το ίδιο ύψος δύο βάρη, από τα οποία το ένα είναι πολλές φορές πιο βαρύ από το άλλο, θα δείτε ότι ο λόγος των χρόνων που απαιτούνται για την κίνηση δεν εξαρτάται από τον λόγο των βαρών, αλλά ότι η διαφορά στον χρόνο είναι πολύ μικρή. Άρα, εάν η διαφορά των βαρών δεν είναι μεγάλη, δηλαδή εάν το ένα είναι ας πούμε διπλάσιο από το άλλο, δεν θα υπάρξει καμία διαφορά, ή θα υπάρξει μόνο ανεπαίσθητη διαφορά στον χρόνο, παρότι η διαφορά των βαρών δεν είναι επ' ουδενί αμελητέα, καθώς το ένα σώμα έχει διπλάσιο βάρος από το άλλο.

Σε αυτό το απόσπασμα υπάρχει πειραματική απόδειξη ότι η «αριστοτελική» άποψη είναι λανθασμένη, διότι σώματα των οποίων τα

βάρη διαφέρουν σημαντικά ή των οποίων τα βάρη διαφέρουν κατά έναν παράγοντα δύο φτάνουν στο έδαφος σχεδόν την ίδια στιγμή. Όμως, παρατηρήστε ότι ο Φιλόπονος υπαινίσσεται επίσης ότι και η άποψη του «βασικού εγχειριδίου» μπορεί να είναι λανθασμένη, διότι έχει βρει ότι σώματα με διαφορετικά βάρη μπορεί να πέσουν από το ίδιο ύψος σε ελαφρώς διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Τέτοιες διαφορές μπορεί να είναι τόσο μικρές ώστε να χαρακτηριστούν «ανεπαίσθητες». Μία χιλιετία αργότερα ο Φλαμανδός μηχανικός, φυσικός και μαθηματικός Simon Stevin έκανε ένα παρόμοιο πείραμα. Η αφήγησή του έχει ως εξής:

Η εμπειρία ενάντια στον Αριστοτέλη είναι η παρακάτω: Ας πάρουμε δύο σφαίρες από μόλυβδο, η μία δέκα φορές μεγαλύτερη και βαρύτερη από την άλλη (όπως κάναμε εγώ και ο πολυμαθής κος Jan Cornets de Groot, ένας πολύ επιμελής ερευνητής των μουσικών της Φύσης), και ας τις αφήσουμε να πέσουν μαζί από ένα ύψος 30 ποδιών πάνω σε μια σανίδα ή σε κάτι άλλο στο οποίο θα κάνουν έναν ακουστό ήχο. Τότε θα διαπιστώσουμε ότι η πιο ελαφριά δεν θα χρειαστεί δέκα φορές περισσότερο χρόνο απ' ό,τι η βαριά, αλλά ότι πέφτουν μαζί πάνω στη σανίδα σε τόσο κοντινές χρονικές στιγμές ώστε οι δύο ήχοι να ακούγονται σαν ένας.

Ο Stevin προφανώς ενδιαφερόταν περισσότερο να αποδείξει ότι ο Αριστοτέλης έκανε λάθος παρά να διακρίνει εάν υπάρχει μια πολύ μικρή διαφορά, η οποία θα ενισχυόταν εάν είχε αφήσει τα δύο σώματα από μεγαλύτερο ύψος. Η αφήγησή του, συνεπώς, δεν είναι τόσο ακριβής όσο εκείνη που μας παρέδωσε ο Φιλόπονος στο τέλος του 6ου αιώνα. Δεν άφησε περιθώριο για μια μικρή, αλλά συχνά ίσως «ανεπαίσθητη», χρονική διαφορά.

Ο Γαλιλαίος, που έκανε το ίδιο πείραμα με μεγαλύτερη προσοχή από τον Stevin, ανέφερε:

Αλλά εγώ ... που έχω κάνει τη δοκιμή μπορώ να σας διαβεβαιώσω ότι μια οβίδα που ζυγίζει εκατό ή διακόσιες λίβρες, ή ακόμα περισσότερο, δεν θα φτάσει στο έδαφος σε αντίστοιχα μικρότερο χρόνο απ' ό,τι ένα βλήμα μουσκέτου που ζυγίζει μόνο μισή ουγγιά, εφόσον και τα δύο

αφεθούν από ύψος 200 braccia\*... το μεγαλύτερο σώμα αφήνει πίσω του το μικρότερο κατά δύο ίντσες, δηλαδή όταν το μεγαλύτερο έχει φτάσει στο έδαφος το άλλο είναι δύο ίντσες πίσω του.

### *Η ανάγκη για μια νέα φυσική*

Ίσως αναρωτιέστε ακόμα τι σχέση έχει η σχετική ταχύτητα των ελαφρών και βαρέων σωμάτων που πέφτουν είτε με ένα κοσμικό σύστημα στο οποίο η Γη κινείται είτε με τα προηγούμενα συστήματα στα οποία η Γη ήταν ακίνητη. Η απάντηση έγκειται στο γεγονός ότι το παλιό σύστημα φυσικής που συνδεόταν με το όνομα του Αριστοτέλη ήταν ένα ολοκληρωμένο επιστημονικό σύστημα που είχε αναπτυχθεί για ένα σύμπαν στο οποίο το κέντρο βρίσκεται ακίνητη η Γη. Συνεπώς, για να ανατρέψει κανείς αυτό το σύστημα θέτοντας τη Γη σε κίνηση, χρειαζόταν μια νέα φυσική. Προφανώς, εάν μπορούσε να αποδειχθεί ότι η παλιά φυσική ήταν ανεπαρκής ή ακόμα και ότι οδηγούσε σε λανθασμένα συμπεράσματα, τότε θα είχε κανείς ένα πολύ ισχυρό επιχείρημα για να αρνηθεί το παλαιό σύστημα του σύμπαντος. Αντίστροφα, για να πείσει τους ανθρώπους να δεχτούν ένα νέο σύστημα, θα ήταν αναγκαίο να παρουσιάσει μια νέα φυσική γι' αυτό.

Φυσικά, υποθέτω ότι εσείς, ο αναγνώστης αυτού του βιβλίου, αποδέχεστε τη «μοντέρνα» άποψη, σύμφωνα με την οποία ο Ήλιος είναι ακίνητος και οι πλανήτες κινούνται γύρω από αυτόν. Ας μην εξετάσουμε προς στιγμήν τι εννοούμε με την πρόταση «Ο Ήλιος είναι ακίνητος», ή το πώς θα μπορούσαμε να το αποδείξουμε, και ας εστιάσουμε απλά την προσοχή μας στο γεγονός ότι η Γη κινείται. Πόσο γρήγορα κινείται; Η Γη εκτελεί μία περιστροφή γύρω από τον άξονά της κάθε 24 ώρες. Στον Ισημερινό η περίμετρος της Γης είναι περίπου 40.000 χιλιόμετρα, και έτσι η ταχύτητα περιστροφής κάθε παρατηρητή στον Ισημερινό της Γης είναι 1667 χιλιόμετρα ανά ώρα. Αυτή αντιστοιχεί σε γραμμική ταχύτητα περίπου ίση με 463 μέτρα

---

\* Σ.π.Ε.: braccio, μονάδα μήκους, διαφορετική σε διάφορες πόλεις της Ιταλίας· στη Φλωρεντία ήταν ίση με περίπου 58 εκατοστά.