

# Κάνοντας φυσική

## Τι γνωρίζετε:

- Έρχεστε σε αυτό το μάθημα με ένα στέρεο υπόβαθρο στην άλγεβρα, τη γεωμετρία και την τριγωνομετρία.
- Μπορεί να έχετε διδαχτεί απειροστικό λογισμό ή να ξεκινάτε τώρα.
- Δεν χρειάζεται να έχετε ήδη παρακολουθήσει μαθήματα φυσικής, για να κατανοήσετε πλήρως αυτό το βιβλίο.

## Τι μαθαίνετε:

- Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια επισκόπηση της φυσικής και των τομέων της, οι οποίοι περιγράφουν συνολικά το φυσικό σύμπαν.
- Θα μάθετε τη βάση του συστήματος SI των μονάδων μέτρησης.
- Θα μάθετε να εκφράζετε και να χειρίζεστε τους αριθμούς που χρησιμοποιούνται στην ποσοτική επιστήμη.
- Θα μάθετε να χειρίζεστε την ακρίβεια και την αβεβαιότητα.
- Θα αναπτύξετε τη δεξιότητα εκτέλεσης γρήγορων υπολογισμών.
- Θα μάθετε πώς να εξαγάγετε πληροφορίες από πειραματικά δεδομένα.
- Θα δείτε μια μέθοδο για την επίλυση προβλημάτων φυσικής.

## Πώς θα τα χρησιμοποιήσετε:

- Οι δεξιότητες και οι γνώσεις που αναπτύσσετε σε αυτό το κεφάλαιο θα σας χρησιμεύσουν σε όλες τις σπουδές σας στον τομέα της φυσικής.
- Θα είστε σε θέση να εκφράζετε τις ποσοτικές απαντήσεις στα προβλήματα φυσικής σε επιστημονική σημειογραφία, με τις σωστές μονάδες και τον αποδεκτό βαθμό αβεβαιότητας, που εκφράζονται μέσω σημαντικών ψηφίων.
- Η ικανότητα να κάνετε γρήγορους υπολογισμούς θα σας βοηθήσει να υπολογίζετε τα μεγέθη των φυσικών φαινομένων, καθώς και να αναγνωρίζετε αν τα ποσοτικά σας αποτελέσματα είναι λογικά.
- Η μέθοδος επίλυσης προβλημάτων που θα μάθετε εδώ θα σας φανεί χρήσιμη σε πολλά προβλήματα φυσικής με τα οποία θα ασχοληθείτε, ώστε να μάθετε πραγματικά τη φυσική.



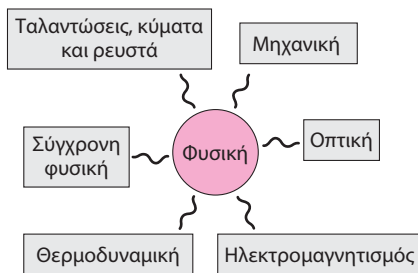
Ποιος τομέας της φυσικής εμπλέκεται στη λειτουργία του DVD player;

Τοποθετείτε ένα DVD στη συσκευή αναπαραγωγής και κάθεστε για να παρακολουθήσετε μια ταινία. Το DVD περιστρέφεται και μια εστιασμένη ακτίνα λέιζερ «διαβάζει» το περιεχόμενό του. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα επεξεργάζεται τις πληροφορίες, αποστέλλοντάς τες στην οθόνη βίντεο και στα μεγάφωνα που μετατρέπουν τα ηλεκτρικά σήματα σε κύματα ήχου. Σε κάθε βήμα, οι αρχές της φυσικής διέπουν την προβολή της ταινίας από το DVD σε εσάς.

## 1.1 Τομείς φυσικής

Αυτή η συσκευή αναπαραγωγής DVD είναι μια αλληγορία για όλη τη **φυσική** – την επιστήμη που περιγράφει τις θεμελιώδεις διεργασίες της φυσικής πραγματικότητας. Η φυσική ερμηνεύει μια ποικιλία από φυσικά φαινόμενα, από τη συμπεριφορά των ατόμων και των μορίων έως τις καταιγίδες

και τα ουράνια τόξα και την εξέλιξη των αστεριών, των γαλαξιών και του ίδιου του σύμπαντος. Οι τεχνολογικές εφαρμογές της φυσικής είναι η βάση για τα πάντα, από τη μικροηλεκτρονική έως την ιατρική απεικόνιση, τα αυτοκίνητα, τα αεροπλάνα και τις διαστημικές πτήσεις.



ΣΧΗΜΑ 1.1 Τομείς της φυσικής.

Στην πιο θεμελιώδη της μορφή, η φυσική παρέχει μια σχεδόν ενιαία περιγραφή όλων των φυσικών φαινομένων. Ωστόσο, είναι εύκολο να διαιρέσουμε τη φυσική σε διαφορετικούς κλάδους (Σχήμα 1.1). Το DVD player περιλαμβάνει ουσιαστικά όλους αυτούς τους τομείς. Η **μηχανική**, ο κλάδος της φυσικής που ασχολείται με την κίνηση, περιγράφει τον περιστρεφόμενο δίσκο. Η μηχανική ερμηνεύει επίσης την κίνηση ενός αυτοκινήτου, τις τροχιές των πλανητών και την ευστάθεια ενός ουρανοξύστη. Το Μέρος 1 αυτού του βιβλίου ασχολείται με τις βασικές ιδέες της μηχανικής.

Τα ηχητικά κύματα που προέρχονται από τα ηχεία σας αντιπροσωπεύουν την **κυματική κίνηση**. Άλλα παραδείγματα είναι τα κύμα-

τα των ωκεανών που χτυπάνε τις ακτές της Γης, το κύμα των θεατών που σαρώνει ένα ποδοσφαιρικό γήπεδο και οι κυματισμοί του φλοιού της Γης που διαδίδουν την ενέργεια ενός σεισμού. Το Μέρος 2 αυτού του βιβλίου καλύπτει την κυματική κίνηση και άλλα φαινόμενα που αφορούν την κίνηση των ρευστών, όπως ο αέρας και το νερό.

Όταν γράφετε το δικό σας DVD, η υψηλή θερμοκρασία που παράγεται από μια έντονα εστιασμένη ακτίνα μεταβάλλει τις ιδιότητες του υλικού του εγγράψιμου DVD, αποθηκεύοντας έτσι βίντεο ή πληροφορίες στον υπολογιστή. Αυτό είναι ένα παράδειγμα της **θερμοδυναμικής** – της μελέτης της θερμότητας και της επίδρασής της στην ύλη. Η θερμοδυναμική περιγράφει επίσης τη λεπτή ισορροπία των διαδικασιών μεταφοράς ενέργειας που διατηρεί τον πλανήτη μας σε κατοικήσιμη θερμοκρασία και θέτει σοβαρούς περιορισμούς στη δυνατότητά μας να ανταποκριθούμε στις αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας. Στο Μέρος 3 περιλαμβάνονται τέσσερα κεφάλαια για τη θερμοδυναμική.

Ένας ηλεκτρικός κινητήρας περιστρέφει το DVD σας, μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια κίνησης. Οι ηλεκτροκινητήρες είναι πανταχού παρόντες στη σύγχρονη κοινωνία, θέτοντας σε λειτουργία τα πάντα, από τους συρμούς του μετρό και τα υβριδικά αυτοκίνητα έως τους ανελκυστήρες και τα πλυντήρια ρούχων, τις αντλίες ινσουλίνης και τις τεχνητές καρδιές. Αντίστροφα, οι ηλεκτρικές γεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρισμό, παρέχοντας σχεδόν όλη την ηλεκτρική ενέργειά μας. Οι κινητήρες και οι γεννήτριες είναι δύο εφαρμογές του **ηλεκτρομαγνητισμού** στη σύγχρονη τεχνολογία. Άλλες περιλαμβάνουν ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οπτικοακουστικό εξοπλισμό, φούρνους μικροκυμάτων, ψηφιακά ρολόγια και ακόμη και τον ταπεινό λαμπτήρα. Χωρίς αυτές τις ηλεκτρομαγνητικές τεχνολογίες, η ζωή μας θα ήταν πολύ διαφορετική. Εξίσου ηλεκτρομαγνητικές είναι και όλες οι ασύρματες τεχνολογίες που επιτρέπουν τις σύγχρονες επικοινωνίες, από τη δορυφορική τηλεόραση έως τα κινητά τηλέφωνα, τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών, τα ποντίκια και τα πληκτρολόγια. Ακόμη και το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο. Στο Μέρος 4 παρουσιάζονται οι αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού και οι εφαρμογές του.

Η ακριβής εστίαση του φωτός λέιζερ στη συσκευή αναπαραγωγής DVD επιτρέπει την αποθήκευση ωρών βίντεο σε έναν μικρό πλαστικό δίσκο. Οι λεπτομέρειες και οι περιορισμοί αυτής της εστίασης διέπονται από τις αρχές της **οπτικής**, της μελέτης του φωτός και της συμπεριφοράς του. Οι εφαρμογές της οπτικής ποικίλλουν από απλούς μεγεθυντικούς φακούς έως φακούς επαφής και εξελιγμένα όργανα, όπως μικροσκόπια, τηλεσκόπια και φασματόμετρα. Οι οπτικές ίνες μεταφέρουν τα μηνύματα του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, τις ιστοσελίδες και τη μουσική που κατεβάζετε μέσω του παγκόσμιου ιστού. Στα φυσικά οπτικά συστήματα συγκαταλέγονται το μάτι σας και οι σταγόνες της βροχής που διαθλούν το φως του ήλιου για να σχηματίσουν ουράνια τόξα. Στο Μέρος 5 εξετάζονται οι αρχές της οπτικής και οι εφαρμογές της.

Το φως του λέιζερ στη συσκευή αναπαραγωγής DVD είναι ένα παράδειγμα ηλεκτρομαγνητικού κύματος, αλλά σε ατομικό επίπεδο η αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη αποκαλύπτει σωματιδιακές «δέσμες» ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Αυτός είναι ο τομέας της **κβαντικής φυσικής**, ο οποίος ασχολείται με τη, συχνά αντι-διαισθητική, συμπεριφορά της ύλης και της ενέργειας στο ατομικό επίπεδο. Τα κβαντικά φαινόμενα εξηγούν επίσης πώς λειτουργεί αυτό το λέιζερ του DVD και, πιο βαθιά, τη δομή των ατόμων και την περιοδική διάταξη των στοιχείων που αποτελεί τη βάση όλης της χημείας. Η κβαντική φυσική είναι η μία από τις δύο μεγάλες εξελίξεις της **σύγχρονης φυσικής**. Η άλλη είναι η **θεωρία της σχετικότητας** του Αϊνστάιν. Η σχετικότητα και η κβαντική φυσική προέκυψαν κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα και από κοινού άλλαξαν ριζικά τις συνειδητές μας αντιλήψεις για τον χρόνο, τον χώρο και την αιτιότητα. Στο Μέρος 6 διερευνώνται οι ιδέες της σύγχρονης φυσικής, ολοκληρώνοντας αυτά που γνωρίζουμε ή όχι για την ιστορία, το μέλλον και τη σύνθεση ολόκληρου του σύμπαντος.

## ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.1

## Φυσική του αυτοκινήτου

Αναφέρετε μερικά συστήματα στο αυτοκίνητό σας τα οποία εξηγούν μέσω παραδειγμάτων τους επιμέρους τομείς της φυσικής.

**ΕΡΜΗΝΕΥΣΤΕ** Η μηχανική είναι εύκολη· το αυτοκίνητο αποτελεί κατά βάση ένα μηχανικό σύστημα του οποίου σκοπός είναι η κίνηση. Πιο αναλυτικά, αναφέρουμε την εκκίνηση, το σταμάτημα, τις στροφές, καθώς και μια σειρά από άλλες κινήσεις μέσα στα μηχανικά υποσυστήματα. Τα ελατήρια του αυτοκινήτου σας και τα αμορτισέρ αποτελούν ένα σύστημα ταλάντωσης που έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει μια άνετη διαδρομή. Η μηχανή του αυτοκινήτου αποτελεί ένα ιδανικό παράδειγμα θερμο-

δυναμικού συστήματος, μετατρέποντας την ενέργεια της καύσης της βενζίνης σε κίνηση του αυτοκινήτου. Τα ηλεκτρομαγνητικά συστήματα ποικίλλουν, από το μοτέρ εκκίνησης και το μπουζί έως τις περίπλοκες ηλεκτρονικές συσκευές που παρακολουθούν και βελτιστοποιούν την απόδοση του κινητήρα. Οι αρχές της οπτικής διέπουν τη λειτουργία των καθρεφτών και των προβολέων. Ολοένα και περισσότερο, οι οπτικές ίνες μεταδίδουν πληροφορίες σε κρίσιμα συστήματα ασφαλείας. Η σύγχρονη φυσική είναι λιγότερο εμφανής στο αυτοκίνητό σας, αλλά, τελικά, οτιδήποτε, από τις χημικές αντιδράσεις της καύσης βενζίνης έως την ατομική κλίμακα λειτουργίας των ηλεκτρονικών συστημάτων των αυτοκινήτων, διέπεται από τις αρχές της.

## 1.2 Μετρήσεις και μονάδες

Μια «μεγάλη διαδρομή» έχει άλλη σημασία για ένα άτομο που κάθεται, έναν δρομέα μαραθωνίου, έναν πιλότο και έναν αστροναύτη. Πρέπει να ποσοτικοποιούμε τις μετρήσεις μας. Η επιστήμη χρησιμοποιεί το **μετρικό σύστημα**, με τις θεμελιώδεις ποσότητες μήκους, μάζας και χρόνου μετρημένες σε μέτρα, κιλά και δευτερόλεπτα, αντίστοιχα. Η σύγχρονη εκδοχή του μετρικού συστήματος είναι το **SI**, που συμβολίζει το *Système International d'Unités* (Διεθνές Σύστημα Μονάδων), το οποίο ενσωματώνει επιστημονικά ακριβείς ορισμούς των θεμελιωδών ποσοτήτων.

Οι τρεις θεμελιώδεις ποσότητες ορίστηκαν αρχικά σε σχέση με τη φύση: το μέτρο αναφορικά με το μέγεθος της Γης, το χιλιόγραμμα (κιλό) ως ποσότητα νερού και το δευτερόλεπτο από τη διάρκεια της μέρας. Για το μήκος και τη μάζα τα παραπάνω αντικαταστάθηκαν αργότερα από συγκεκριμένα αντικείμενα – μία ράβδος της οποίας το μήκος ορίζεται ως 1 μέτρο και έναν κύλινδρο του οποίου η μάζα ορίζει το χιλιόγραμμα. Όμως, τα φυσικά πρότυπα, όπως η διάρκεια της μέρας, μπορούν να αλλάξουν, όπως και οι ιδιότητες των σωμάτων. Έτσι, οι πρώτοι ορισμοί του SI έδωσαν τη θέση τους σε **λειτουργικούς ορισμούς**, οι οποίοι είναι πρότυπα μέτρησης που βασίζονται σε εργαστηριακές διαδικασίες. Αυτά τα πρότυπα έχουν το πλεονέκτημα ότι οι επιστήμονες μπορούν να τα αναπαράγουν οπουδήποτε. Μέχρι τα τέλη του 20ού αιώνα, δύο από τις τρεις βασικές μονάδες – το μέτρο και το δευτερόλεπτο – είχαν λειτουργικούς ορισμούς, αλλά το χιλιόγραμμα όχι.

Ένας ειδικός τύπος λειτουργικού ορισμού περιλαμβάνει την απόδοση μίας ακριβούς τιμής σε κάποια συγκεκριμένη φυσική σταθερά – μια ποσότητα που έχει προσδιοριστεί πειραματικά και συνοδεύεται από κάποια αβεβαιότητα στην τιμή της. Όπως περιγράφεται παρακάτω, το μέτρο ήταν η πρώτη μονάδα που ορίστηκε με αυτό τον τρόπο. Από τις αρχές του 21ου αιώνα, ήταν σαφές ότι ο καθορισμός μονάδων με όρους θεμελιωδών, αναλλοίωτων φυσικών σταθερών είναι ο καλύτερος τρόπος για να εξασφαλιστεί η μακροπρόθεσμη σταθερότητα του συστήματος μονάδων SI. Στις μέρες μας, το SI υφίσταται μια σαρωτική αναθεώρηση, η οποία θα οδηγήσει σε επαναπροσδιορισμό του χιλιόγραμμου και τριών από τις τέσσερις εναπομείναντες αποκαλούμενες βασικές μονάδες με έναν ορισμό που τις «κλειδώνει» με τις ακριβείς τιμές των θεμελιωδών σταθερών. Αυτοί οι ορισμοί **ρητών-σταθερών**, όπως αποκαλούνται, θα έχουν παρόμοια διατύπωση, καθιστώντας σαφές ότι η εν λόγω μονάδα απορρέει από την καθορισμένη τιμή της συγκεκριμένης φυσικής σταθεράς.

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Οι μονάδες έχουν σημασία:  
Μια κακή μέρα στον Άρη

Τον Σεπτέμβριο του 1999, το Mars Climate Orbiter καταστράφηκε όταν το διαστημικό σκάφος πέρασε από την ατμόσφαιρα του Άρη και δέχτηκε δυνάμεις και θερμότητα πέρα από τα όρια αντοχής του. Γιατί ένα σκάφος αξίας 125 εκατομμυρίων δολαρίων εισήλθε στην αρειανή ατμόσφαιρα όταν υποτίθεται ότι θα έπρεπε να παραμείνει στο κενό του Διαστήματος; Η NASA αναγνώρισε ως βασική αιτία την αποτυχία μετατροπής των αγγλικών μονάδων που χρησιμοποίησε μια ομάδα για να καθορίσει την πυραυλική ώθηση στις μονάδες SI που ανέμενε μια άλλη ομάδα. Οι μονάδες έχουν σημασία!





## Μήκος

Το **μέτρο** ορίστηκε πρώτη φορά ως το ένα δέκα-εκατομμυριοστό της απόστασης από τον ισημερινό της Γης στον Βόρειο Πόλο. Το 1889 κατασκευάστηκε ένα τυποποιημένο μέτρο για να αντικαταστήσει τη μονάδα που βασίζεται στη Γη και το 1960 έδωσε τη θέση του σε ένα πρότυπο που βασίζεται στο μήκος κύματος του φωτός. Μέχρι τη δεκαετία του 1970, η ταχύτητα του φωτός είχε γίνει μία από τις πιο ακριβώς προσδιορισμένες ποσότητες. Ως αποτέλεσμα, το μέτρο επαναπροσδιορίστηκε το 1983 ως η απόσταση που διανύει το φως στο κενό σε  $1 / 299.792.458$  του δευτερολέπτου. Το αποτέλεσμα αυτού του ορισμού ήταν να γίνει η ταχύτητα του φωτός μια καθορισμένη ποσότητα:  $299.792.458 \text{ m/s}$ . Έτσι, το μέτρο έγινε η πρώτη μονάδα στο σύστημα SI που βασίζεται σε μια καθορισμένη τιμή για μια θεμελιώδη σταθερά. Οι νέοι ορισμοί του SI δεν θα αλλάξουν το μέτρο, αλλά θα επαναδιατυπώσουν τον ορισμό για να τον προσαρμόσουν στη μορφή ρητής-σταθεράς:

Το μέτρο, με σύμβολο  $m$ , είναι η μονάδα του μήκους. Το μέγεθός του καθορίζεται ορίζοντας την αριθμητική τιμή της ταχύτητας του φωτός στο κενό να είναι ίση ακριβώς με  $299.792.458$  όταν εκφράζεται στη μονάδα SI  $m/s$ .

## Χρόνος

Το **δευτερόλεπτο** καθορίστηκε από την περιστροφή της Γης, αλλά αυτή δεν είναι σταθερή, οπότε αργότερα επαναπροσδιορίστηκε ως ένα συγκεκριμένο κλάσμα του έτους 1900. Ένας λειτουργικός ορισμός ακολούθησε το 1967, συνδέοντας το δευτερόλεπτο με την ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια συγκεκριμένη ατομική διαδικασία. Ο νέος ορισμός θα διατηρήσει την ουσία αυτού του λειτουργικού ορισμού αλλά θα τον αναδιατυπώσει στη μορφή ρητής-σταθεράς:

Το δευτερόλεπτο, με σύμβολο  $s$ , είναι η μονάδα του χρόνου. Το μέγεθός του καθορίζεται από τον ορισμό της αριθμητικής τιμής της συχνότητας υπέρλεπτο διαχωρισμού της θεμελιώδους στάθμης του ατόμου του καΐσιου-133, σε ηρεμία και σε θερμοκρασία  $0 \text{ K}$ , στην ακριβή τιμή  $9.192.631.770$ , όταν εκφράζεται στη μονάδα SI  $s^{-1}$ , η οποία είναι ίση με  $\text{Hz}$ .

Ο μηχανισμός που υλοποιεί αυτό τον ορισμό –ο οποίος θα φαίνεται λιγότερο συγκεχυμένος όταν θα έχετε διδαχτεί λίγη ατομική φυσική– ονομάζεται *ατομικό ρολόι*. Εδώ η φράση «ίση με  $\text{Hz}$ » εισάγει τη μονάδα hertz ( $\text{Hz}$ ) για τη συχνότητα – τον αριθμό κύκλων μιας επαναλαμβανόμενης διαδικασίας που σημειώνεται κάθε δευτερόλεπτο.

## Μάζα

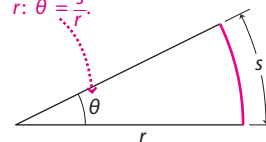
Από το 1889, το χιλιόγραμμα έχει οριστεί ως η μάζα ενός μοναδικού τεχνουργήματος: πρόκειται για το διεθνές πρότυπο χιλιόγραμμα, έναν κύλινδρο λευκόχρυσου-ιριδίου που φυλάσσεται σε κρύπτη στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (Bureau International des Poids et Mesures – BIPM) στη Σεβρ της Γαλλίας. Αυτό το πρότυπο, που βασίζεται σε τεχνουργήμα, όχι μόνο έχει δύσκολη πρόσβαση, αλλά συγκριτικές μετρήσεις έχουν αποκαλύψει ελάχιστες αλλά αυξανόμενες διαφορές μάζας μεταξύ του διεθνούς πρότυπου χιλιόγραμμου και δευτερευόντων προτύπων που βασίζονται σε αυτό.

Στην τρέχουσα αναθεώρηση στο SI, το χιλιόγραμμα θα γίνει η τελευταία από τις βασικές μονάδες του SI που θα οριστεί λειτουργικά, με έναν νέο ορισμό ρητής-σταθεράς που θα προκύψει από τον καθορισμό της τιμής της σταθεράς του Planck,  $h$ , μιας θεμελιώδους σταθεράς της φύσης που σχετίζεται με την «κβαντικότητα» των φυσικών ποσοτήτων στο ατομικό και υποατομικό επίπεδο. Οι μονάδες της σταθεράς του Planck περιλαμβάνουν δευτερόλεπτα, μέτρα και χιλιόγραμμα· αποδίδοντας στο  $h$  μια ακριβή τιμή, στην πραγματικότητα ορίζουμε την τιμή του  $1 \text{ s}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}$ . Αλλά με το μέτρο και το δευτερόλεπτο ήδη καθορισμένα, ο ορισμός της μονάδας  $\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}$  καθορίζει το χιλιόγραμμα. Μια διαδικασία που υλοποιεί αυτό τον ορισμό είναι η ισορροπία watt ή ισορροπία Kibble (από τον εφευρέτη της). Αυτό το όργανο εξισορροπεί μια άγνωστη μάζα έναντι δυνάμεων που προκύπτουν από ηλεκτρικά φαινόμενα των οποίων το μέγεθος, με τη σειρά του, μπορεί να σχετιστεί με τη σταθερά του Planck. Ο νέος επίσημος ορισμός του χιλιόγραμμου θα είναι παρόμοιος με τους ορισμούς ρητής-σταθεράς του μέτρου και του δευτερολέπτου, αλλά η ακριβής τιμή της σταθεράς Planck δεν έχει καθιερωθεί ακόμη.

## Άλλες μονάδες στο SI

Το σύστημα SI περιλαμβάνει επτά ανεξάρτητες μονάδες βάσης: εκτός από το μέτρο, το δευτερόλεπτο και το χιλιόγραμμα, υπάρχουν το ampere (A) για το ηλεκτρικό ρεύμα, το kelvin (K) για τη θερμοκρασία, το mole (mol) για την ποσότητα μιας ουσίας και το candela (cd) για τη φωτεινότητα. Θα παρουσιάσουμε αυτές τις μονάδες αργότερα, όπως απαιτείται. Στην τρέχουσα αναθεώρηση του SI θα τους δοθούν νέοι ορισμοί ρητής-σταθεράς για όλες τις μονάδες εκτός από το candela, αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό των τιμών θεμελιωδών φυσικών σταθερών. Εκτός από τις επτά φυσικές μονάδες βάσης, δύο συμπληρωματικές μονάδες ορίζουν γεωμετρικά μέτρα γωνίας: το ακτίνιο (rad) για τις συνήθεις γωνίες (Σχήμα 1.2) και το steradian (sr) για τις στερεές γωνίες. Οι μονάδες για όλες τις άλλες φυσικές ποσότητες προέρχονται από τις μονάδες βάσης.

Η γωνία  $\theta$  σε ακτίνια προσδιορίζεται ως ο λόγος του μήκους του αντίστοιχου τόξου  $s$  προς την ακτίνα  $r$ :  $\theta = \frac{s}{r}$ .



**ΣΧΗΜΑ 1.2** Το ακτίνιο είναι η μονάδα μέτρησης της γωνίας στο SI.

## Προθέματα του SI

Θα μπορούσατε να προσδιορίσετε το μήκος ενός βακτηρίου (π.χ. 0,00001 m) ή την απόσταση από την επόμενη πόλη (π.χ. 58.000 m) σε μέτρα, αλλά τα αποτελέσματα θα ήταν δύσκολα – πολύ μικρό στην πρώτη περίπτωση και πολύ μεγάλο στη δεύτερη. Έτσι, χρησιμοποιούμε προθέματα για να υποδείξουμε πολλαπλάσια των μονάδων βάσης του SI. Για παράδειγμα, το πρόθεμα k (για «kilo») σημαίνει 1000. 1 km είναι 1000 m, οπότε η απόσταση μέχρι την επόμενη πόλη είναι 58 km. Ομοίως, το πρόθεμα μ σημαίνει «micro» ή  $10^{-6}$ . Έτσι, το βακτήριό μας έχει μήκος 10 μm. Τα προθέματα του SI παρατίθενται στον Πίνακα 1.1. Θα χρησιμοποιούμε τα προθέματα σε παραδείγματα και προβλήματα και συχνά θα εκφράζουμε τις απαντήσεις μας χρησιμοποιώντας προθέματα SI, χωρίς να κάνουμε ρητή μετατροπή μονάδων.

Όταν χρησιμοποιούνται δύο μονάδες μαζί, εμφανίζεται ένα ενωτικό μεταξύ τους – για παράδειγμα, newton-meter. Κάθε μονάδα έχει ένα σύμβολο, όπως το m για το μέτρο ή το N για το newton (η μονάδα της δύναμης στο SI). Για τα σύμβολα χρησιμοποιούνται συνήθως μικρά γράμματα, αλλά αυτά που πήραν το όνομά τους από ανθρώπους γράφονται με κεφαλαία. Έτσι, το «newton» γράφεται με ένα μικρό «n», αλλά το σύμβολό του είναι ένα κεφαλαίο N. Μία εξαίρεση είναι το λίτρο, η μονάδα όγκου. δεδομένου ότι το μικρό γράμμα «l» μπερδεύεται εύκολα με τον αριθμό 1, το σύμβολο για το λίτρο είναι ένα κεφαλαίο L. Όταν πολλαπλασιάζονται δύο μονάδες, τα σύμβολά τους διαχωρίζονται από μία κεντρική κουκκίδα: N · m για το newton-meter. Η διαίρεση των μονάδων εκφράζεται με την πλάγια κάθετο (/) ή γράφοντας τη μονάδα του παρονομαστή υψωμένη στη δύναμη  $-1$ . Έτσι, η μονάδα SI της ταχύτητας είναι το μέτρο ανά δευτερόλεπτο και γράφεται ως m/s ή  $m \cdot s^{-1}$ .

**Πίνακας 1.1** Προθέματα SI

Πρόθεμα	Σύμβολο	Δύναμη
yotta	Y	$10^{24}$
zetta	Z	$10^{21}$
exa	E	$10^{18}$
peta	P	$10^{15}$
tera	T	$10^{12}$
giga	G	$10^9$
mega	M	$10^6$
kilo	k	$10^3$
hecto	h	$10^2$
deca	da	$10^1$
—	—	$10^0$
deci	d	$10^{-1}$
centi	c	$10^{-2}$
milli	m	$10^{-3}$
micro	μ	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
pico	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$
zepto	z	$10^{-21}$
yocto	y	$10^{-24}$

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.1

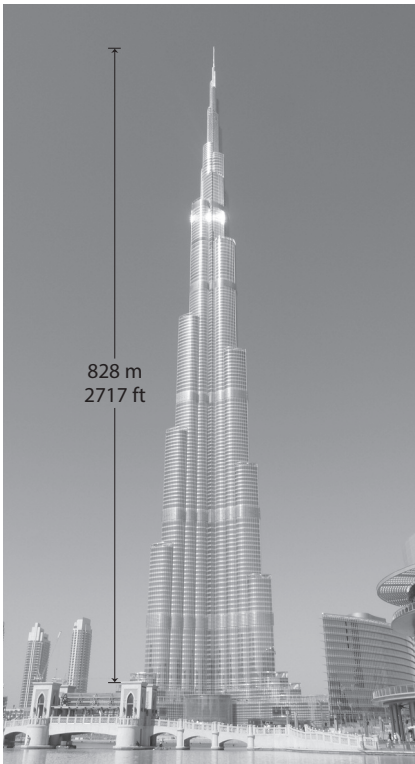
#### Αλλάζοντας μονάδες: Όρια ταχύτητας

Εκφράστε ένα όριο ταχύτητας 65 mi/h σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ** Σύμφωνα με το Παράρτημα Γ, 1 mi = 1609 m, έτσι μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε τα μίλια με τον λόγο 1609 m/mi για να πάρουμε μέτρα. Παρομοίως, χρησιμοποιού-

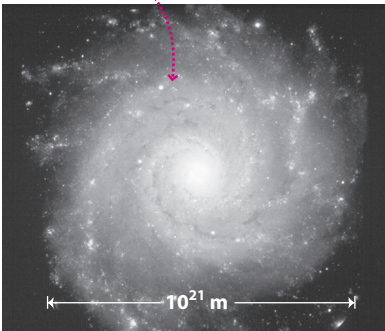
με τον συντελεστή μετατροπής 3600 s/h για να μετατρέψουμε τις ώρες σε δευτερόλεπτα. Ο συνδυασμός αυτών των δύο μετατροπών δίνει

$$65 \text{ mi/h} = \left( \frac{65 \text{ mi}}{\text{h}} \right) \left( \frac{1609 \text{ m}}{\text{mi}} \right) \left( \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 29 \text{ m/s}$$

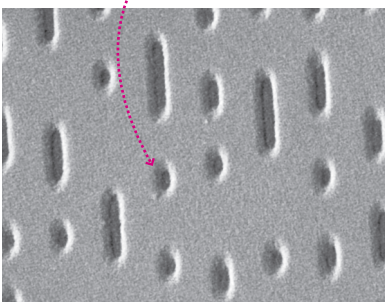


**ΣΧΗΜΑ 1.3** Το Μπουρτζ Χαλίφα στο Ντουμπάι είναι το ψηλότερο κτίριο στον κόσμο.

Αυτός ο γαλαξίας έχει διάμετρο  $10^{21}$  m και μάζα  $\sim 10^{42}$  kg.



Η ταινία σας είναι αποθηκευμένη σε ένα DVD σε «pits» μεγέθους μόλις  $4 \times 10^{-7}$  m.



**ΣΧΗΜΑ 1.4** Μεγάλο και μικρό.

## Άλλα συστήματα μονάδων

Οι ίντσες, τα πόδια, οι γιάρδες, τα μίλια και οι λίβρες του λεγόμενου αγγλικού συστήματος εξακολουθούν να επικρατούν στις μετρήσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες. Άλλες μονάδες εκτός του SI, όπως η ώρα, συχνά αναμειγνύονται με αγγλικές μονάδες ή με μονάδες SI, όπως και τα όρια ταχύτητας σε μίλια ανά ώρα ή χιλιόμετρα ανά ώρα. Σε κάποιους κλάδους της φυσικής υπάρχουν σοβαροί λόγοι για τη χρήση μονάδων εκτός SI. Θα συζητήσουμε αυτές τις περιπτώσεις όπου προκύπτουν και περιστασιακά θα χρησιμοποιήσουμε μονάδες εκτός SI σε παραδείγματα και προβλήματα. Θα δούμε ότι πολλές φορές είναι πρακτικό να χρησιμοποιούμε μοίρες παρά ακτίνια για γωνίες. Στη μεγάλη πλειονότητα των παραδειγμάτων και των προβλημάτων σε αυτό το βιβλίο, ωστόσο, χρησιμοποιούνται αυστηρά μονάδες SI.

## Μετατροπή μονάδων

Μερικές φορές πρέπει να κάνουμε μετατροπές από το ένα σύστημα σε ένα άλλο – για παράδειγμα, από το αγγλικό στο SI. Το Παράρτημα Γ περιέχει πίνακες για τη μετατροπή μεταξύ συστημάτων μονάδων. Θα πρέπει να εξοικειωθείτε με αυτό και με τα άλλα παραρτήματα και να ανατρέχετε σε αυτά συχνά.

Για παράδειγμα, το Παράρτημα Γ δείχνει ότι  $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$ . Εφόσον  $1 \text{ ft}$  και  $0,3048 \text{ m}$  αντιπροσωπεύουν την ίδια φυσική απόσταση, ο πολλαπλασιασμός οποιασδήποτε απόστασης με τον λόγο τους θα αλλάξει τις μονάδες αλλά όχι την πραγματική φυσική απόσταση. Έτσι, το ύψος του Μπουρτζ Χαλίφα στο Ντουμπάι (Σχήμα 1.3), του ψηλότερου κτιρίου του κόσμου, είναι  $2717 \text{ ft}$  ή

$$(2717 \text{ ft}) \left( \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ ft}} \right) = 828,1 \text{ m}$$

Συχνά θα χρειαστεί να αλλάξετε αρκετές μονάδες στην ίδια έκφραση. Η παρακολούθηση των μονάδων μέσω μιας αλυσίδας πολλαπλασιασμών σας βοηθά να αποφύγετε κάποια απροσεξία αντιστρέφοντας έναν παράγοντα μετατροπής. Μια αριθμητική απάντηση δεν μπορεί να είναι σωστή αν δεν έχει τις σωστές μονάδες!

---

**ΤΟ ΚΑΤΑΝΟΗΣΑΤΕ; 1.1** Ένα καναδικό όριο ταχύτητας  $50 \text{ km/h}$  με ποιο όριο ταχύτητας των ΗΠΑ, που εκφράζεται σε μίλια ανά ώρα (mph), βρίσκεται πιο κοντά; α)  $60 \text{ mph}$ , β)  $45 \text{ mph}$ , γ)  $30 \text{ mph}$ .

---

## 1.3 Δουλεύοντας με αριθμούς

### Επιστημονική σημειογραφία

Το εύρος των μετρούμενων ποσοτήτων στο σύμπαν είναι τεράστιο. Μόνο τα μήκη κυμαίνονται από περίπου  $1/1.000.000.000.000.000 \text{ m}$  για την ακτίνα του πρωτονίου σε  $1.000.000.000.000.000.000.000.000 \text{ m}$  για το μέγεθος ενός γαλαξία. Τα τηλεσκόπιά μας βλέπουν  $100.000$  φορές μακρύτερα. Ως εκ τούτου, συχνά εκφράζουμε αριθμούς σε **επιστημονική σημειογρα-**

**φία**, όπου ένας αριθμός λογικού μεγέθους πολλαπλασιάζεται με μία δύναμη του 10. Για παράδειγμα, το 4185 είναι  $4,185 \times 10^3$  και το 0,00012 είναι  $1,2 \times 10^{-4}$ . Ο Πίνακας 1.2 αποτυπώνει τη μεγάλη ποικιλία μετρήσεων για τις θεμελιώδεις ποσότητες του μήκους, του χρόνου και της μάζας. Αφιερώστε ένα λεπτό (περίπου  $10^2$  καρδιακοί παλμοί ή  $3 \times 10^{-8}$  μιας μέσης διάρκειας ανθρώπινης ζωής) για να μελετήσετε αυτό τον πίνακα μαζί με το Σχήμα 1.4.

Οι επιστημονικές αριθμομηχανές χειρίζονται αριθμούς σε επιστημονική σημειογραφία. Αλλά απλοί κανόνες σάς επιτρέπουν να χρησιμοποιείτε την επιστημονική σημειογραφία, αν δεν έχετε μια τέτοια αριθμομηχανή στη διάθεσή σας.

**Πίνακας 1.2** Αποστάσεις, χρόνοι και μάζες (στρογγυλοποιημένα σε ένα σημαντικό ψηφίο)

Ακτίνα του παρατηρούμενου σύμπαντος	$1 \times 10^{26}$ m
Ακτίνα της Γης	$6 \times 10^6$ m
Ψηλότερο βουνό	$9 \times 10^3$ m
Ύψος ανθρώπου	2 m
Διάμετρος ερυθρού αιμοσφαίριου	$1 \times 10^{-5}$ m
Μέγεθος πρωτονίου	$1 \times 10^{-15}$ m
Ηλικία του σύμπαντος	$4 \times 10^{17}$ s
Περίοδος γήινης περιστροφής (1 έτος)	$3 \times 10^7$ s
Ανθρώπινος καρδιακός παλμός	1 s
Μήκος κύματος, φούρνος μικροκυμάτων	$5 \times 10^{-10}$ s
Χρόνος διέλευσης του φωτός από ένα πρωτόνιο	$3 \times 10^{-24}$ s
Μάζα του γαλαξία Milky Way	$1 \times 10^{42}$ kg
Μάζα ενός βουνού	$1 \times 10^{18}$ kg
Μάζα ενός ανθρώπου	70 kg
Μάζα ενός ερυθρού αιμοσφαίριου	$1 \times 10^{-13}$ kg
Μάζα ενός ατόμου ουρανίου	$4 \times 10^{-25}$ kg
Μάζα του ηλεκτρονίου	$1 \times 10^{-30}$ kg

### ΜΕΘΟΔΟΣ 1.1

### Χρήση της επιστημονικής σημειογραφίας

#### Πρόσθεση/Αφαίρεση

Για να προσθέσετε ή να αφαιρέσετε αριθμούς στην επιστημονική σημειογραφία, αρχικά τους δίνετε τον ίδιο εκθέτη και στη συνέχεια προσθέτετε (ή αφαιρείτε):

$$3,75 \times 10^6 + 5,2 \times 10^5 = 3,75 \times 10^6 + 0,52 \times 10^6 = 4,27 \times 10^6$$

#### Πολλαπλασιασμός/Διαίρεση

Για να πολλαπλασιάσετε (ή να διαιρέσετε) αριθμούς στην επιστημονική σημειογραφία, πολλαπλασιάστε (ή διαιρέσετε) τα ψηφία και μετά προσθέστε (ή αφαιρέσετε) τους εκθέτες:

$$(3,0 \times 10^8 \text{ m/s})(2,1 \times 10^{-10} \text{ s}) = (3,0)(2,1) \times 10^{8+(-10)} \text{ m} = 6,3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

#### Δυνάμεις/Ρίζες

Για να υψώσετε αριθμούς στην επιστημονική σημειογραφία σε οποιαδήποτε δύναμη, υψώστε τα ψηφία στη δεδομένη δύναμη και πολλαπλασιάστε τον εκθέτη με τη δύναμη:

$$\begin{aligned} \sqrt{(3,61 \times 10^4)^3} &= \sqrt{3,61^3 \times 10^{(4)(3)}} = (47,04 \times 10^{12})^{1/2} \\ &= \sqrt{47,04} \times 10^{(12)(1/2)} = 6,86 \times 10^6 \end{aligned}$$

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.2

### Επιστημονική σημειογραφία: Προειδοποιήσεις για τσουνάμι

Τα τσουνάμι που παράγονται από σεισμούς είναι τόσο καταστροφικά επειδή ολόκληρος ο ωκεανός, από την επιφάνεια έως τον βυθό, συμμετέχει στην κίνηση του κύματος. Η ταχύτητα τέτοιων κυμάτων δίνεται από τη σχέση  $v = \sqrt{gh}$ , όπου  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $h$  είναι το βάθος σε μέτρα. Προσδιορίστε την ταχύτητα που έχει ένα τσουνάμι σε νερό βάθους 3,0 km.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ** Το βάθος 3,0 km είναι  $3,0 \times 10^3 \text{ m}$ . Έτσι, έχουμε

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{gh} = [(9,8 \text{ m/s}^2)(3,0 \times 10^3 \text{ m})]^{1/2} = (29,4 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}^2)^{1/2} \\ &= (2,94 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2)^{1/2} = \sqrt{2,94} \times 10^2 \text{ m/s} = 1,7 \times 10^2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

όπου γράψαμε  $29,4 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}^2$  ως  $2,94 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$  στη δεύτερη γραμμή προκειμένου να υπολογίσουμε την τετραγωνική ρίζα ευκολότερα. Η μετατροπή της ταχύτητας σε km/h δίνει

$$\begin{aligned} 1,7 \times 10^2 \text{ m/s} &= \left( \frac{1,7 \times 10^2 \text{ m}}{\text{s}} \right) \left( \frac{1 \text{ km}}{1,0 \times 10^3 \text{ m}} \right) \left( \frac{3,6 \times 10^3 \text{ s}}{\text{h}} \right) \\ &= 6,1 \times 10^2 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Αυτή η ταχύτητα –περίπου 600 km/h– δείχνει γιατί ακόμη και μακρινές ακτές έχουν λίγο χρόνο να προετοιμαστούν για την άφιξη ενός τσουνάμι.



## Σημαντικά ψηφία

Πόσο ακριβές είναι το  $1,7 \times 10^2$  m/s που υπολογίσαμε στο Παράδειγμα 1.2; Τα δύο **σημαντικά ψηφία** σε αυτό τον αριθμό υποδηλώνουν ότι η τιμή είναι πλησιέστερη στο 1,7 απ' ό,τι στο 1,6 ή το 1,8. Όσο λιγότερα είναι τα σημαντικά ψηφία, με τόσο μικρότερη ακρίβεια μπορούμε να ισχυριστούμε ότι γνωρίζουμε μια δεδομένη ποσότητα.

Στο Παράδειγμα 1.2 μας δόθηκαν, στην πραγματικότητα, δύο σημαντικά ψηφία και για τις δύο ποσότητες. Ο απλός υπολογισμός δεν μπορεί να προσθέσει ακρίβεια, οπότε στρογγυλοποιήσαμε και την απάντησή μας σε δύο σημαντικά ψηφία. Οι αριθμομηχανές και οι υπολογιστές συχνά δίνουν τιμές με πολλά ψηφία, αλλά τα περισσότερα από αυτά συνήθως δεν έχουν νόημα.

Ποια είναι η περιφέρεια της Γης; Είναι  $2\pi R_T$ , και το  $\pi$  είναι περίπου 3,14159... Αλλά, αν γνωρίζετε την ακτίνα της Γης μόνο ως  $6,37 \times 10^6$  m, μαθαίνοντας το  $\pi$  με περισσότερα σημαντικά ψηφία δεν μπορείτε να ισχυριστείτε ότι γνωρίζετε την περιφέρεια με μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτό το παράδειγμα υποδεικνύει έναν κανόνα για τον χειρισμό υπολογισμών που περιλαμβάνουν αριθμούς με διαφορετική ακρίβεια:

Στον πολλαπλασιασμό και στη διαίρεση, η απάντηση πρέπει να έχει τον ίδιο αριθμό σημαντικών ψηφίων με τη λιγότερο ακριβή ποσότητα από αυτές που υπεισέρχονται στον υπολογισμό.

Σχεδιάζετε μια ράμπα πρόσβασης σε μια γέφυρα της οποίας το κύριο εύρος έχει μήκος 1,248 km. Η ράμπα θα έχει μήκος 65,4 m. Ποιο θα είναι το συνολικό μήκος; Ένας απλός υπολογισμός δίνει  $1,248 \text{ km} + 0,0654 \text{ km} = 1,3134 \text{ km}$ . Πώς θα πρέπει να το στρογγυλοποιήσετε αυτό; Γνωρίζετε το μήκος της γέφυρας με  $\pm 0,001 \text{ km}$ , οπότε η προσθήκη αυτού του μικρού ποσού είναι σημαντική. Επομένως, οι απαντήσεις σας πρέπει να έχουν τρία ψηφία στα δεξιά της υποδιαστολής, δίνοντας 1,313 km. Έτσι:

Στην πρόσθεση και στην αφαίρεση, η απάντηση θα πρέπει να έχει τον ίδιο αριθμό ψηφίων στα δεξιά της υποδιαστολής με τον όρο του αθροίσματος ή της διαφοράς που έχει τον μικρότερο αριθμό δεκαδικών ψηφίων.

Κατά την αφαίρεση, αυτός ο κανόνας μπορεί να οδηγήσει γρήγορα σε απώλεια ακρίβειας, όπως φαίνεται στο Παράδειγμα 1.3.

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.3

#### Επιστημονική σημειογραφία: Πυρηνικό καύσιμο

Μια ράβδος καυσίμου από ουράνιο έχει μήκος 3,241 m πριν τοποθετηθεί σε πυρηνικό αντιδραστήρα. Μετά την εισαγωγή, η θερμότητα από την πυρηνική αντίδραση αύξησε το μήκος της στα 3,249 m. Ποια είναι η αύξηση του μήκους της ράβδου;

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ** Η αφαίρεση δίνει  $3,249 \text{ m} - 3,241 \text{ m} = 0,008 \text{ m}$  ή 8 mm. Αυτό πρέπει να είναι 8 mm ή 8,000 mm; Απλώς 8 mm. Η αφαίρεση επηρεάστηκε μόνο από το τελευταίο ψηφίο των τεσσάρων σημαντικών ψηφίων από τα μήκη, αφήνοντας μόνο ένα σημαντικό ψηφίο στην απάντηση.

### ✓ ΣΥΜΒΟΥΛΗ Ενδιάμεσα αποτελέσματα

Αν και είναι σημαντικό η τελική απάντησή σας να αντικατοπτρίζει την ακρίβεια των αριθμών που υπάρχουν σε αυτή, οποιαδήποτε ενδιάμεσα αποτελέσματα θα πρέπει να έχουν τουλάχιστον ένα επιπλέον σημαντικό ψηφίο. Διαφορετικά, η στρογγυλοποίηση των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων θα μπορούσε να αλλάξει την απάντησή σας.

**ΤΟ ΚΑΤΑΝΟΗΣΑΤΕ; 1.2** Κατατάξτε τους αριθμούς σύμφωνα με (1) το μέγεθός τους και (2) τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων. Ορισμένοι μπορεί να έχουν ίδια κατάταξη.  $0,0008$ ,  $3,14 \times 10^7$ ,  $2,998 \times 10^{-9}$ ,  $55 \times 10^6$ ,  $0,041 \times 10^9$

Τι συμβαίνει όμως με όλους τους αριθμούς που τελειώνουν στο μηδέν, όπως 60, 300 ή 410; Πόσα σημαντικά ψηφία έχουν; Αυστηρά μιλώντας, το 60 και το 300 έχουν μόνο ένα σημαντικό ψηφίο, ενώ το 410 δύο. Αν θέλετε να εκφράσετε τον αριθμό 60 με δύο σημαντικά ψηφία, θα πρέπει να γράψετε  $6,0 \times 10^1$ . Παρομοίως, το 300 με τρία σημαντικά ψηφία θα ήταν  $3,00 \times 10^2$  και το 410 με τρία σημαντικά ψηφία θα ήταν  $4,10 \times 10^2$ .



## Δουλεύοντας με δεδομένα

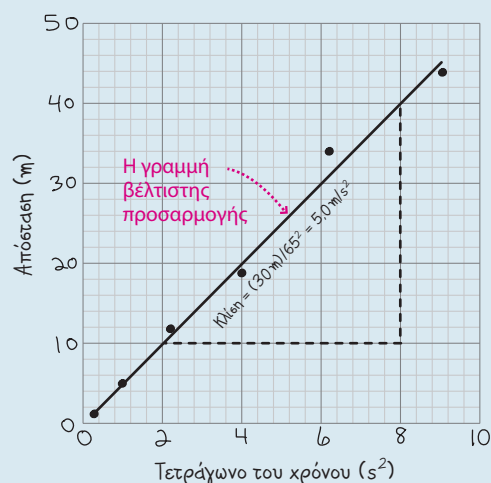
Στη φυσική, όπως και σε άλλες επιστήμες, ακόμη και σε μη επιστημονικά πεδία, θα χρειαστεί να δουλέψετε με δεδομένα – αριθμούς που προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις. Μια σημαντική χρήση των δεδομένων στις επιστήμες είναι η επιβεβαίωση υποθέσεων που αφορούν τις σχέσεις μεταξύ των φυσικών μεγεθών. Οι επιστημονικές υποθέσεις μπορούν γενικά να περιγραφούν ποσοτικά με τη χρήση εξισώσεων, οι οποίες συχνά δίνουν –ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δώσουν– μια γραμμική σχέση μεταξύ των ποσοτήτων. Η διαγραμματική αναπαράσταση τέτοιων δεδομένων και η προσαρμογή μιας γραμμής στα σημεία των δεδομένων –χρησιμοποιώντας διαδικασίες όπως η ανάλυση παλινδρόμησης, η προσαρμογή ελαχίστων τετραγώνων ή ακόμα και «με το μάτι»– μπορούν να επιβεβαιώσουν την υπόθεση και να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα υπό μελέτη φαινόμενα. Θα έχετε ίσως την ευκαιρία να κάνετε τέτοια προσαρμογή δεδομένων στο εργαστήριο φυσικής σας και σε άλλα μαθήματα. Επειδή τα δεδομένα είναι τόσο σημαντικά στην πειραματική επιστήμη, έχουμε συμπεριλάβει τουλάχιστον ένα πρόβλημα δεδομένων σε κάθε κεφάλαιο. Το Παράδειγμα 1.4 παρουσιάζει ένα τυπικό παράδειγμα προσαρμογής δεδομένων σε ευθεία γραμμή.

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.4

#### Ανάλυση δεδομένων: Μια μπάλα σε πτώση

Όπως θα δείτε στο Κεφάλαιο 2, η απόσταση που διανύεται από ένα σώμα που πέφτει από την ηρεμία θα πρέπει να αυξάνεται ανάλογα με το τετράγωνο του χρόνου από την αρχή της πτώσης. Ο συντελεστής αναλογίας θα πρέπει να είναι το μισό της επιτάχυνσης λόγω της βαρύτητας. Ο πίνακας δείχνει τα πραγματικά δεδομένα από μετρήσεις μιας μπάλας που πέφτει. Προσδιορίστε μια ποσότητα τέτοια ώστε, όταν σχεδιάσετε την απόσταση πτώσης  $y$  συναρτήσει αυτής, να πάρετε μια ευθεία γραμμή. Σχεδιάστε το διάγραμμα, προσαρμόστε μια ευθεία γραμμή και από την κλίση της προσδιορίστε μια κατά προσέγγιση τιμή για την επιτάχυνση της βαρύτητας.

Χρόνος (s)	0,500	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
Απόσταση (m)	1,12	5,30	12,2	18,5	34,1	43,6
Τετράγωνο του χρόνου ( $s^2$ )	0,250	1,00	2,25	4,00	6,25	9,00



**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ** Γνωρίζουμε ότι η απόσταση πτώσης  $y$  πρέπει να είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του χρόνου. Έτσι, επιλέγουμε το διάγραμμα  $y$  σε συνάρτηση με το  $t^2$ . Έχουμε λοιπόν προσθέσει μια σειρά στον πίνακα, αναφέροντας τις τιμές του  $t^2$ . Το Σχήμα 1.5 είναι το σχέδιό μας. Παρόλο που το κάναμε με το χέρι, σε χαρτί μιλιμετρέ, θα μπορούσατε να χρησιμοποιήσετε ένα λογιστικό φύλλο ή κάποιο άλλο πρόγραμμα για να φτιάξετε το διάγραμμά σας ηλεκτρονικά. Ένα πρόγραμμα γραφικών θα μπορούσε να προσφέρει την επιλογή να σχεδιάσετε μια γραμμή βέλτιστης προσαρμογής και να πάρετε την κλίση της, αλλά ακόμη και μια γραμμή «με το μάτι», που ακολουθεί τη γενική τάση των σημείων, λειτουργεί εκπληκτικά καλά. Έχουμε κατασκευάσει μια τέτοια γραμμή και το σχήμα δείχνει ότι η κλίση είναι πολύ κοντά στα  $5,0 \text{ m/s}^2$ .

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ** Το γεγονός ότι τα σημεία των δεδομένων μας βρίσκονται σχεδόν σε ευθεία γραμμή επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι η απόσταση πτώσης πρέπει να είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του χρόνου. Τα πραγματικά δεδομένα σχεδόν ποτέ δεν βρίσκονται ακριβώς σε μια θεωρητικά προβλεπόμενη

**ΣΧΗΜΑ 1.5** Το διάγραμμά μας για το Παράδειγμα 1.4. «Πετύχαμε» τη γραμμή βέλτιστης προσαρμογής χρησιμοποιώντας έναν χάρακα. Σημειώστε ότι δεν περνά από όλα τα επιμέρους σημεία, αλλά προσπαθεί να αποτυπώσει τη μέση τάση των σημείων των δεδομένων.

γραμμή ή καμπύλη. Μια πιο εξελιγμένη ανάλυση θα έδινε σφάλματα, δείχνοντας την αβεβαιότητα της μέτρησης σε κάθε σημείο των δεδομένων. Επειδή η μετρούμενη κλίση της γραμμής μας υποτίθεται ότι είναι το ήμισυ της βαρυτικής επιτάχυνσης, η ανάλυσή μας υποδηλώνει ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας είναι περίπου  $10 \text{ m/s}^2$ . Αυτό είναι κοντά στην τιμή των  $9,8 \text{ m/s}^2$  που χρησιμοποιείται συνήθως.

## Εκτίμηση

Κάποια προβλήματα στη φυσική και στη μηχανική απαιτούν ακριβείς αριθμητικές απαντήσεις. Πρέπει να γνωρίζουμε για πόσο ακριβώς χρόνο πρέπει να πυροδοτήσουμε έναν πύραυλο για να θέσει ένα διαστημόπλοιο σε πορεία προς κάποιον μακρινό πλανήτη ή σε τι μέγεθος να κόψουμε τον μικροσκοπικό κρυστάλλινο χαλαζία του οποίου οι δονήσεις δίνουν τον παλμό ενός ψηφιακού ρολογιού. Αλλά για πολλούς άλλους σκοπούς, χρειαζόμαστε

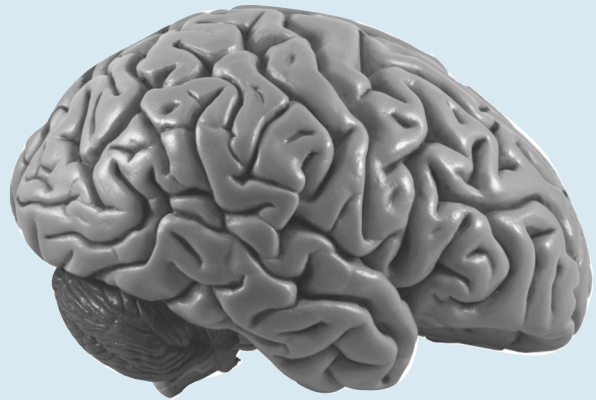
**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.5****Εκτίμηση: Μετρώντας τα κύτταρα του εγκεφάλου**

Εκτιμήστε τη μάζα του εγκεφάλου σας και τον αριθμό των κυττάρων που περιέχει.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ** Το κεφάλι μου έχει πλάτος περίπου 6 in ή 15 cm, αλλά υπάρχουν πολλά κρανιακά οστά, οπότε ίσως ο εγκέφαλός μου έχει διάμετρο περίπου 10 cm ή 0,1 m. Δεν γνωρίζω το ακριβές του σχήμα, αλλά για την εκτίμηση θα υποθέσω ότι είναι κύβος. Τότε, ο όγκος του είναι  $(10\text{ cm})^3 = 1000\text{ cm}^3$  ή  $10^{-3}\text{ m}^3$ . Το σώμα μου αποτελείται ως επί το πλείστον από νερό και η πυκνότητα του νερού είναι 1 γραμμάριο ανά κυβικό εκατοστό ( $1\text{ g/cm}^3$ ), οπότε ο εγκέφαλός μου, όγκου  $1000\text{ cm}^3$ , έχει μάζα περίπου 1 kg.

Πόσο μεγάλο είναι ένα εγκεφαλικό κύτταρο; Δεν ξέρω, αλλά ο Πίνακας 1.2 παραθέτει τη διάμετρο ενός ερυθρού αιμοσφαιρίου που είναι περίπου  $10^{-5}\text{ m}$ . Αν τα εγκεφαλικά κύτταρα έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος, τότε κάθε κύτταρο έχει όγκο περίπου  $(10^{-5}\text{ m})^3 = 10^{-15}\text{ m}^3$ . Έτσι, ο αριθμός των κυττάρων στον εγκέφαλό μου, όγκου  $10^{-3}\text{ m}^3$ , είναι περίπου

$$N = \frac{10^{-3}\text{ m}^3/\text{εγκέφαλος}}{10^{-15}\text{ m}^3/\text{κύτταρο}} = 10^{12}\text{ κύτταρα/εγκέφαλο}$$



**ΣΧΗΜΑ 1.6** Ο μέσος ανθρώπινος εγκέφαλος περιέχει περισσότερα από  $10^{11}$  κύτταρα.

Αν και χονδρικές, αυτές οι εκτιμήσεις δεν είναι κακές. Η μέση μάζα του εγκεφάλου ενός ενήλικα είναι περίπου 1,3 kg και περιέχει τουλάχιστον  $10^{11}$  κύτταρα (Σχήμα 1.6).

μόνο μια γενική ιδέα για το μέγεθος ενός φυσικού φαινομένου. Επίσης, οι χονδρικές εκτιμήσεις βοηθούν να ελέγξετε αν τα αποτελέσματα πιο δύσκολων υπολογισμών έχουν νόημα.

## 1.4 Στρατηγικές για την εκμάθηση της φυσικής

Μπορείτε να μάθετε για τη φυσική και μπορείτε να μάθετε να κάνετε φυσική. Αυτό το βιβλίο απευθύνεται σε φοιτητές φυσικών επιστημών και μηχανικής, οπότε εστιάζεται και στα δύο. Το να γνωρίζετε για τη φυσική θα σας βοηθήσει να εκτιμήσετε τον ρόλο αυτής της θεμελιώδους επιστήμης στην ερμηνεία φυσικών και τεχνολογικών φαινομένων. Το να μάθετε να κάνετε φυσική θα σας δώσει τη δυνατότητα να επιλύετε ποσοτικά προβλήματα – βρίσκοντας απαντήσεις σε ερωτήσεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο φυσικός κόσμος και σχετικά με το πώς θέτουμε τις τεχνολογίες στην καρδιά της σύγχρονης κοινωνίας.

### Φυσική: Πρόκληση και απλότητα

Τα προβλήματα της φυσικής μπορούν να θέσουν προκλήσεις, απαιτώντας διορατικότητα και μαθηματική ευκινησία. Αυτή η πρόκληση είναι που δίνει στη φυσική τη φήμη ενός δύσκολου αντικειμένου. Αλλά στο βάθος η φυσική στηρίζεται σε λίγες μόνο βασικές αρχές. Επειδή η φυσική είναι τόσο θεμελιώδης, είναι επίσης εγγενώς απλή. Υπάρχουν μόνο λίγες βασικές ιδέες προς εκμάθηση. Αν τις κατανοήσετε πραγματικά, μπορείτε να τις εφαρμόσετε σε ποικίλες καταστάσεις. Αυτές οι ιδέες και οι εφαρμογές τους συνδέονται όλες μεταξύ τους και θα τονίσουμε αυτές τις συνδέσεις και την υποκείμενη απλότητα της φυσικής, υπενθυμίζοντάς σας πως τα πολλά παραδείγματα, εφαρμογές και προβλήματα είναι εκφάνσεις των ίδιων βασικών αρχών. Αν προσεγγίζετε τη φυσική ως ένα συνονθύλευμα από άσχετους νόμους και εξισώσεις, θα χάσετε την ουσία και θα δυσκολευτείτε. Αλλά αν δείτε τις βασικές αρχές, τις συνδέσεις μεταξύ φαινομένων και προβλημάτων φαινομενικά ασυσχέτιστων, τότε θα ανακαλύψετε την απλότητα που αντικατοπτρίζει το πεδίο και τη δύναμη της φυσικής – της θεμελιώδους επιστήμης.

### Επίλυση προβλημάτων: Η μέθοδος IDEA

Η επίλυση ενός ποσοτικού προβλήματος φυσικής ξεκινάει πάντα με βασικές αρχές ή έννοιες και τελειώνει με μια ακριβή απάντηση που εκφράζεται είτε ως αριθμητική ποσότητα είτε αλγεβρικά. Όποια και αν είναι η αρχή, όποιος

κι αν είναι ο επιμέρους τομέας της φυσικής και όποια και αν είναι η συγκεκριμένη περίπτωση, η διαδρομή από την αρχή έως την απάντηση ακολουθεί τέσσερα απλά βήματα: βήματα που αποτελούν μια ολοκληρωμένη μέθοδο για την αντιμετώπιση όλων των προβλημάτων στη φυσική. Το ακρωνύμιό τους, IDEA (Interpret-Develop-Evaluate-Assess – Ερμηνεύστε-Αναπτύξτε-Υπολογίστε-Αξιολογήστε), θα σας βοηθήσει να θυμάστε αυτά τα βήματα και θα τα εμπεδώσετε καθώς τα εφαρμόζουμε ξανά και ξανά σε λυμένα παραδείγματα σε όλο το βιβλίο. Γενικά θα γράφουμε και τα τέσσερα βήματα χωριστά, αν και τα παραδείγματα αυτού του κεφαλαίου περνούν αμέσως στη φάση ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ. Σε μερικά κεφάλαια, μάλιστα, θα εισαγάγουμε εκδοχές αυτής της μεθόδου προσαρμοσμένες στο συγκεκριμένο υλικό.

Η μέθοδος IDEA δεν είναι ένα «συνταγολόγιο» για την επίλυση προβλημάτων φυσικής. Είναι μάλλον ένα εργαλείο για να οργανώσετε τις σκέψεις σας, να ενισχύσετε την εννοιολογική σας κατανόηση, να αναπτύξετε και να εκτελέσετε σχέδια για την επίλυση προβλημάτων και να αξιολογήσετε τις απαντήσεις σας. Εδώ είναι η IDEA:

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ 1.1

### Προβλήματα φυσικής

**ΕΡΜΗΝΕΥΣΤΕ** Το πρώτο βήμα είναι να ερμηνεύσετε το πρόβλημα για να βεβαιωθείτε ότι γνωρίζετε τι ζητάει. Στη συνέχεια προσδιορίζετε τις έννοιες και αρχές που εφαρμόζονται – τους νόμους κίνησης του Νεύτωνα, τη διατήρηση της ενέργειας, τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής, τον νόμο του Gauss και ούτω καθεξής. Επίσης, προσδιορίζετε τους «παίκτες» στην κατάσταση – το σώμα του οποίου την κίνηση σας ζητείται να περιγράψετε, τις δυνάμεις που ενεργούν, το θερμοδυναμικό σύστημα που θα αναλύσετε, τα φορτία που παράγουν ένα ηλεκτρικό πεδίο, τα στοιχεία ενός ηλεκτρικού κυκλώματος, τις φωτεινές ακτίνες που θα βοηθήσουν να εντοπίσετε ένα είδωλο και ούτω καθεξής.

**ΑΝΑΠΤΥΞΤΕ** Το δεύτερο βήμα είναι να αναπτύξετε ένα σχέδιο για την επίλυση του προβλήματος. Είναι πάντα χρήσιμο και συχνά απαραίτητο να σχεδιάζετε ένα σχήμα που να αποτυπώνει την κατάσταση. Το σχέδιό σας πρέπει να δείχνει σώματα, δυνάμεις και άλλες φυσικές οντότητες. Η επισήμανση των μαζών, των θέσεων, των δυνάμεων, των ταχυτήτων, των ροών θερμότητας, των ηλεκτρικών ή μαγνητικών πεδίων και άλλων ποσοτήτων θα σας βοηθήσει πολύ. Κατόπιν, καθορίστε τους σχετικούς μαθηματικούς τύπους – συγκεκριμένα, εκείνους που περιέχουν τις ποσότητες που δίνονται στα προβλήματα, καθώς και τους αγνώστους ως προς τους οποίους λύνετε. Μην «αρπάξετε» απλώς τις εξισώσεις: αντίθετα, σκεφτείτε ότι η καθεμία αντανakλά τις υποκείμενες έννοιες και αρχές που έχετε εντοπίσει ότι διέπουν αυτό το πρόβλημα. Το σχέδιο που αναπτύξατε μπορεί να περιλαμβάνει τον υπολογισμό ενδιάμεσων ποσοτήτων, την εύρεση τιμών σε έναν πίνακα ή σε ένα από τα διάφορα

παραρτήματα αυτού του βιβλίου ή ακόμα και την επίλυση ενός προκαταρκτικού προβλήματος, του οποίου η απάντηση είναι απαραίτητη για να πάρετε το τελικό αποτέλεσμα.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ** Τα προβλήματα της φυσικής έχουν αριθμητικές ή συμβολικές απαντήσεις και πρέπει να υπολογίσετε την απάντησή σας. Σε αυτό το βήμα εκτελείτε το σχέδιό σας ακολουθώντας τα βήματα που έχετε σκιαγραφήσει. Εδώ χρειάζεστε τις μαθηματικές σας δεξιότητες. Χρησιμοποιήστε άλγεβρα, τριγωνομετρία ή απειροστικό λογισμό, όπως απαιτείται, για να λύσετε τις εξισώσεις σας. Είναι καλή ιδέα να κρατήσετε όλες τις αριθμητικές ποσότητες, είτε είναι γνωστές είτε όχι, σε συμβολική μορφή καθώς επεξεργάζεστε τη λύση του προβλήματός σας. Στο τέλος μπορείτε να βάλετε τους αριθμούς και να χρησιμοποιήσετε την αριθμητική για να υπολογίσετε την απάντηση, αν το πρόβλημα την απαιτεί.

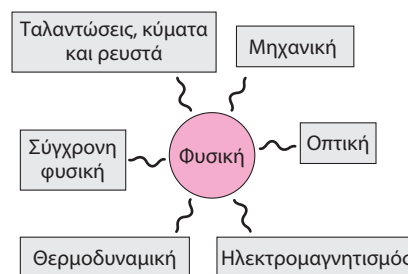
**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ** Μην ικανοποιήσετε με την απάντησή σας μέχρι να αξιολογήσετε αν έχει νόημα! Είναι σωστές οι μονάδες; Οι αριθμοί φαίνονται λογικοί; Η αλγεβρική μορφή της απάντησής σας λειτουργεί σε προφανείς ειδικές περιπτώσεις, όπως ίσως «απενεργοποιώντας» τη βαρύτητα ή κάνοντας μηδενική ή άπειρη τη μάζα του σώματος; Ο έλεγχος ειδικών περιπτώσεων όχι μόνο σας βοηθά να αποφασίσετε αν η απάντησή σας είναι λογική, αλλά μπορεί επίσης να σας δώσει πληροφορίες για τους σχετικούς νόμους της φυσικής. Στα λυμένα παραδείγματα, θα κάνουμε συχνά αυτό το βήμα για να ενισχύσουμε τις γνώσεις σας, συσχετίζοντας το συγκεκριμένο παράδειγμα με άλλες εφαρμογές της φυσικής.

Μην απομνημονεύσετε τη μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων IDEA. Αντ' αυτού, επιδιώξτε να την κατανοήσετε καθώς τη βλέπετε να εφαρμόζεται σε παραδείγματα και καθώς την εφαρμόζετε μόνοι σας στην επίλυση των προβλημάτων στο τέλος των κεφαλαίων. Αυτό το βιβλίο έχει μια σειρά από πρόσθετα χαρακτηριστικά, που αναφέρθηκαν στον Πρόλογο, για να σας βοηθήσει να αναπτύξετε τις δεξιότητές σας στην επίλυση προβλημάτων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΥΝΟΨΗ

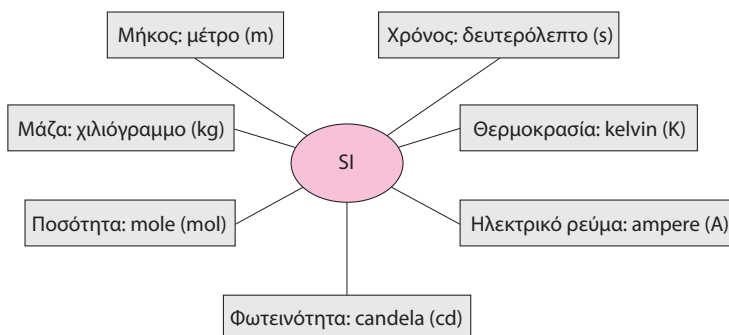
## Κεντρική ιδέα

Η φυσική είναι η θεμελιώδης επιστήμη. Είναι εύκολο να διακρίνουμε επιμέρους τομείς της φυσικής, οι οποίοι περιγράφουν από κοινού όλα όσα είναι γνωστά για τη φυσική πραγματικότητα:



## Βασικές έννοιες και εξισώσεις

Οι αριθμοί που περιγράφουν τις φυσικές ποσότητες πρέπει να έχουν μονάδες. Το σύστημα μονάδων SI περιλαμβάνει επτά θεμελιώδεις μονάδες:



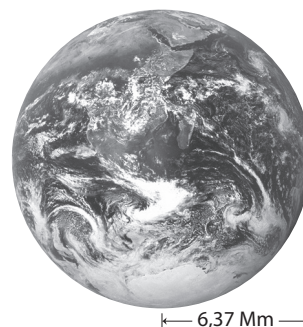
Επιπρόσθετα, η φυσική χρησιμοποιεί γεωμετρικά μέτρα γωνίας.

Οι αριθμοί συχνά γράφονται με προθέματα ή σε επιστημονική σημειογραφία για να εκφράσουν δυνάμεις του 10. Η ακρίβεια φαίνεται από τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων:

Δύναμη του 10

Ακτίνα της Γης  $6,37 \times 10^6 \text{ m} = 6,37 \text{ Mm}$

Τρία σημαντικά ψηφία      SI πρόθεμα για  $\times 10^6$

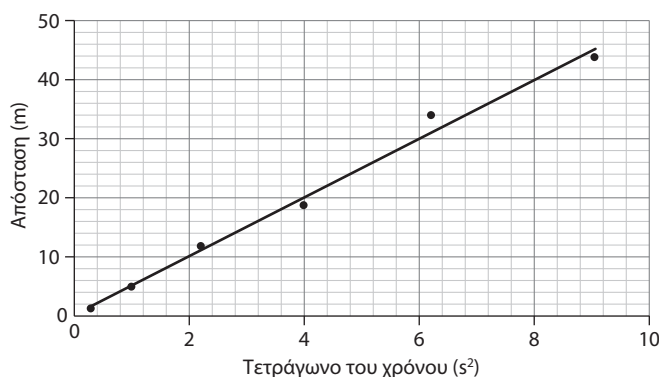


## Εφαρμογές

Η μέθοδος IDEA για την επίλυση προβλημάτων φυσικής αποτελείται από τέσσερα βήματα: Ερμηνεύστε, Αναπτύξτε, Υπολογίστε και Αξιολογήστε. Η εκτίμηση και η ανάλυση δεδομένων είναι πρόσθετες δεξιότητες που βοηθούν στη φυσική.



$$N = \frac{10^{-3} \text{ m}^3/\text{εγκέφαλος}}{10^{-15} \text{ m}^3/\text{κύτταρο}} = 10^{12} \text{ κύτταρα/εγκέφαλο}$$





## Προς σκέψη και συζήτηση

- Εξηγήστε γιατί τα πρότυπα μέτρησης που βασίζονται σε εργαστηριακές διαδικασίες είναι προτιμότερα από αυτά που βασίζονται σε συγκεκριμένα σώματα, όπως το διεθνές πρότυπο χιλιόγραμμα.
- Όταν ένας υπολογιστής που μεταφέρει επτά σημαντικά ψηφία προσθέσει  $1.000.000$  και  $2,5 \times 10^{-15}$ , ποια είναι η απάντηση; Γιατί;
- Γιατί η περιστροφή της Γης δεν παρέχει ένα κατάλληλο πρότυπο για τον χρόνο;
- Για να υψώσετε μία δύναμη του  $10$  σε άλλη δύναμη, πολλαπλασιάζετε τον εκθέτη με τη δύναμη. Εξηγήστε γιατί συμβαίνει αυτό.
- Ποια στοιχεία θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ένας επιστήμονας για την εκτίμηση της ηλικίας της Γης;
- Πώς θα καθορίζατε το μήκος μιας καμπύλης γραμμής;
- Γράψτε  $1/x$  ως  $x$  σε κάποια δύναμη.
- Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την καύση ορυκτών καυσίμων εκφράζονται συχνά σε γιγατόνους ανά έτος, όπου  $1 \text{ τόνος} = 1000 \text{ kg}$ . Μερικές φορές, όμως, οι εκπομπές  $\text{CO}_2$  δίδονται σε petagrams ανά έτος. Πώς συνδέονται αυτές οι δύο μονάδες;
- Στο Κεφάλαιο 3, θα μάθετε ότι το βεληνεκές ενός βλήματος που εκτοξεύεται από οριζόντιο επίπεδο δίνεται από τη σχέση  $x = v_0^2 \sin 2\theta / g$ , όπου  $v_0$  είναι η αρχική ταχύτητα,  $\theta$  η γωνία εκτόξευσης και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας. Αν κάνατε ένα πείραμα που περιλάμβανε την εκτόξευση βλημάτων με την ίδια ταχύτητα  $v_0$  αλλά από διαφορετικές γωνίες εκτόξευσης, συναρτήσει ποιας ποσότητας θα μπορούσατε να σχεδιάσετε το βεληνεκές  $x$  ώστε να πάρετε μια ευθεία γραμμή και έτσι να επαληθεύσετε αυτή τη σχέση;
- Τι εννοούμε με τον ορισμό ρητής-σταθεράς για μια μονάδα;
- Σας ζητήθηκε να κάνετε μια χονδρική εκτίμηση της συνολικής μάζας όλων των φοιτητών του πανεπιστημίου σας. Γράψατε την απάντησή σας ως  $1,16 \times 10^6 \text{ kg}$ . Γιατί αυτή δεν είναι μια κατάλληλη απάντηση;
- που χρησιμοποιείται για τον ορισμό του δευτερολέπτου σε ns;
- Η λίμνη Βαϊκάλη στη Σιβηρία έχει τη μεγαλύτερη ποσότητα γλυκού νερού στον κόσμο, περίπου  $14 \text{ Eg}$ . Πόσα κιλά είναι αυτό;
- Ένα άτομο υδρογόνου έχει διάμετρο περίπου  $0,1 \text{ nm}$ . Πόσα άτομα του υδρογόνου που παρατάσσονται πλάι πλάι θα έφτιαχναν μια γραμμή μήκους  $1 \text{ cm}$ ;
- Πόσο μακρύ σύρμα θα χρειαστείτε για να σχηματίσετε ένα κυκλικό τόξο γωνίας  $1,4 \text{ rad}$ , αν η ακτίνα του είναι  $8,1 \text{ cm}$ ;
- Κάνοντας μια στροφή, ένα αεροπλάνο πετά σε απόσταση  $2,1 \text{ km}$  σε κυκλική διαδρομή ακτίνας  $3,4 \text{ km}$ . Πόση είναι η γωνία στροφής;
- Ένα αυτοκίνητο κινείται με  $35,0 \text{ mi/h}$ . Εκφράστε την ταχύτητα αυτή σε (α)  $\text{m/s}$  και (β)  $\text{ft/s}$ .
- Έχετε γραμμάτση για ένα γράμμα  $1 \text{ oz}$ , αλλά μόνο μια μετρική ζυγαριά. Ποια είναι η μέγιστη μάζα που μπορεί να έχει η επιστολή σας σε γραμμάρια;
- Ένας χρόνος είναι σχεδόν  $\pi \times 10^7 \text{ s}$ . Ποιο είναι το ποσοστό σφάλματος σε αυτό το νούμερο;
- Πόσα κυβικά εκατοστά είναι ένα κυβικό μέτρο;
- Από την αρχή της βιομηχανικής εποχής, η ανθρωπότητα έχει εκπέμψει στην ατμόσφαιρα περίπου μισό exagram άνθρακα. Πόσο είναι αυτό σε τόνους (t, όπου  $1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$ );
- Ένα γαλόνι χρώματος καλύπτει  $350 \text{ ft}^2$ . Ποια είναι η κάλυψή του σε  $\text{m}^2/\text{L}$ ;
- Οι αυτοκινητόδρομοι στον Καναδά έχουν όρια ταχύτητας  $100 \text{ km/h}$ . Πώς συγκρίνεται αυτό με το όριο ταχύτητας  $65 \text{ mi/h}$  που ισχύει στις Ηνωμένες Πολιτείες;
- Ένα  $\text{m/s}$  πόσα  $\text{km/h}$  είναι;
- Ένα κιβώτιο με σπόρους γρασιδιού  $3,0 \text{ lb}$  θα καλύψει  $2100 \text{ ft}^2$  γκαζόν. Εκφράστε αυτή την κάλυψη σε  $\text{m}^2/\text{kg}$ .
- Πόσες μοίρες είναι ένα ακτίνιο;
- Μετατρέψτε τα ακόλουθα σε μονάδες SI: (α)  $55 \text{ mi/h}$ , (β)  $40,0 \text{ km/h}$ , (γ)  $1$  εβδομάδα (πάρτε αυτό το  $1$  ως ακριβή αριθμό), (δ) την περίοδο της τροχιάς του Άρη (συμβουλευτείτε το Παράρτημα Ε).
- Η απόσταση από τον γαλαξία Ανδρομέδα, τον πλησιέστερο στον δικό μας μεγάλο γαλαξία, είναι περίπου  $2,4 \times 10^{22} \text{ m}$ . Εκφράστε αυτό το νούμερο με μεγαλύτερη σαφήνεια χρησιμοποιώντας μονάδες του SI.

## Ασκήσεις και προβλήματα

### Ασκήσεις

#### Ενότητα 1.2 Μετρήσεις και μονάδες

- Η παραγωγή ισχύος ενός συνηθισμένου μεγάλου ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού είναι  $1000 \text{ megawatt (MW)}$ . Εκφράστε αυτό το αποτέλεσμα σε (α)  $\text{W}$ , (β)  $\text{kW}$  και (γ)  $\text{GW}$ .
- Η διάμετρος ενός ατόμου υδρογόνου είναι περίπου  $0,1 \text{ nm}$  και η διάμετρος ενός πρωτονίου είναι περίπου  $1 \text{ fm}$ . Πόσες φορές μεγαλύτερο από το πρωτόνιο είναι το άτομο του υδρογόνου;
- Χρησιμοποιήστε τον ορισμό του μέτρου για να καθορίσετε πόσο μακριά ταξιδεύει το φως σε  $1 \text{ ns}$ .
- Πόση είναι η περίοδος της ακτινοβολίας του καισίου-133

#### Ενότητα 1.3 Δουλεύοντας με αριθμούς

- Προσθέστε  $3,6 \times 10^5 \text{ m}$  και  $2,1 \times 10^3 \text{ km}$ .
- Διαιρέστε  $4,2 \times 10^3 \text{ m/s}$  με  $0,57 \text{ ms}$  και εκφράστε την απάντησή σας σε  $\text{m/s}^2$ .
- Προσθέστε  $5,1 \times 10^{-2} \text{ cm}$  και  $6,8 \times 10^3 \mu\text{m}$  και πολλαπλασιάστε το αποτέλεσμα με  $1,8 \times 10^4 \text{ N}$  (N είναι η μονάδα της δύναμης στο σύστημα SI).
- Βρείτε την κυβική ρίζα του  $6,4 \times 10^{19}$  χωρίς αριθμομηχανή.
- Προσθέστε  $1,46 \text{ m}$  και  $2,3 \text{ cm}$ .
- Σας ζητείται να καθορίσετε το μήκος ενός νέου μοντέλου αεροσκάφους για ένα φυλλάδιο πωλήσεων. Το πραγματικό αεροπλάνο έχει μήκος  $41 \text{ m}$ . Το νέο μοντέλο έχει επι-

πλέον μια κεραία μήκους 3,6 cm στη μύτη του. Τι μήκος θα βάλατε στο φυλλάδιο;

38. Επαναλάβετε την προηγούμενη άσκηση, αυτή τη φορά χρησιμοποιώντας ως αρχικό μήκος του αεροπλάνου 41,05 m.

### Προβλήματα

39. Για να διαπιστώσετε γιατί είναι σημαντικό να μεταφέρετε περισσότερα ψηφία στους ενδιάμεσους υπολογισμούς, προσδιορίστε το  $(\sqrt{3})^3$  με τρία σημαντικά ψηφία με δύο τρόπους: (α) Βρείτε το  $\sqrt{3}$  και στρογγυλοποιήστε σε τρία σημαντικά ψηφία, στη συνέχεια υψώστε στον κύβο και ξαναστρογγυλοποιήστε και (β) βρείτε το  $\sqrt{3}$  με τέσσερα σημαντικά ψηφία, μετά υψώστε στον κύβο και στρογγυλοποιήστε σε τρία σημαντικά ψηφία.
40. Έχετε προσληφθεί ως ρεπόρτερ για περιβαλλοντικά θέματα σε μια εφημερίδα μεγάλης πόλης. Σας ζητείται να υπολογίσετε τον αριθμό των δέντρων που χρειάζονται για τις εκτυπώσεις μίας ημέρας, δεδομένου ότι το μισό δημοσιογραφικό χαρτί προέρχεται από την ανακύκλωση και το υπόλοιπο από νέο χαρτοπολτό. Τι αναφέρετε;
41. Η μέση γαλακτοπαραγωγική αγελάδα παράγει περίπου  $10^4$  kg γάλακτος ετησίως. Υπολογίστε τον αριθμό των αγελάδων που απαιτούνται για να προμηθευτούν γάλα οι Ηνωμένες Πολιτείες.
42. Πόσοι πλανήτες σαν τη Γη χωράνε μέσα στον Ήλιο;
43. Ο μέσος Αμερικανός χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια με ρυθμό περίπου 1,5 kilowatt (kW). Η ηλιακή ενέργεια φτάνει στην επιφάνεια της Γης σε αναλογία περίπου 300 bat ανά τετραγωνικό μέτρο (μια τιμή που λαμβάνει υπόψη τη νύχτα και τη συννεφιά). Τι ποσοστό της επιφάνειας των Ηνωμένων Πολιτειών θα έπρεπε να καλύπτεται με ενεργά φωτοβολταϊκά συστήματα απόδοσης 20% για να παρέχεται όλη η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια;
44. Γράφετε μια βιογραφία του φυσικού Enrico Fermi, ο οποίος αγαπούσε τα υπολογιστικά προβλήματα. Να ένα πρόβλημα που έθεσε ο Fermi: ποιος είναι ο αριθμός χορδιστών πιάνων στο Σικάγο; Δώστε την εκτίμησή σας και εξηγήστε στους αναγνώστες σας πώς φτάσατε σε αυτή.
45. (α) Υπολογίστε τον όγκο του νερού που πέφτει από τους καταρράκτες του Νιαγάρα ανά δευτερόλεπτο. β) Οι καταρράκτες τροφοδοτούν τη λίμνη Ήρι. Αν οι καταρράκτες στέρευαν, υπολογίστε πόσο καιρό θα χρειαζόταν η λίμνη Ήρι για να υψωθεί κατά 1 m.
46. Εκτιμήστε τον αριθμό των μορίων του αέρα στο δωμάτιό σας.
47. Μια ανθρώπινη τρίχα έχει πάχος περίπου 100 μm. Εκτιμήστε τον αριθμό των τριχών σε μια συνήθη κοτσίδα.
48. Εργάζεστε στο τμήμα προστασίας από απάτες μιας εταιρείας πιστωτικών καρτών και σας ζητείται να εκτιμήσετε την πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί ένας τυχαίος 16ψήφιος αριθμός ως αριθμός έγκυρης κάρτας. Τι απαντάτε;
49. Η πυκνότητα μιας τσίχλας είναι περίπου  $1 \text{ g/cm}^3$ . Με μια τσίχλα μάζας 8 g κάνετε φούσκα διαμέτρου 10 cm. Ποιο είναι το πάχος της φούσκας; (Υπόδειξη: Σκεφτείτε να απλώσετε τη φούσκα σε ένα επίπεδο φύλλο. Η επιφάνεια μιας σφαίρας είναι  $4\pi r^2$ .)
50. Η Σελήνη καλύπτει τον Ήλιο κατά τη διάρκεια μιας ηλιακής έκλειψης. Δεδομένου ότι η Σελήνη και ο Ήλιος απέχουν  $4 \times 10^5 \text{ km}$  και  $1,5 \times 10^8 \text{ km}$  αντίστοιχα από τη Γη, καθορίστε πόσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του Ήλιου από της Σελήνης. Αν η ακτίνα της Σελήνης είναι 1800 km, πόσο μεγάλος είναι ο Ήλιος;
51. Το τσιπ ημιαγωγού ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι ένα τετράγωνο πλευράς 4 mm και περιέχει  $10^{10}$  ηλεκτρονικά εξαρτήματα. α) Ποιο είναι το μέγεθος κάθε εξαρτήματος, αν υποθέσουμε ότι είναι τετράγωνα; (β) Αν ένας υπολογισμός απαιτεί τη διέλευση των ηλεκτρικών παλμών από  $10^4$  εξαρτήματα του τσιπ, καθένας ένα εκατομμύριο φορές, πόσους τέτοιους υπολογισμούς μπορεί να κάνει ο υπολογιστής κάθε δευτερόλεπτο; (Υπόδειξη: Η μέγιστη ταχύτητα ενός ηλεκτρικού παλμού είναι περίπου τα 2/3 της ταχύτητας του φωτός.)
52. Εκτιμήστε τον αριθμό (α) των ατόμων και (β) των κυττάρων στο σώμα σας.
53. Όταν γράφουμε τον αριθμό 3,6 ως έναν τυπικό αριθμό με δύο σημαντικά ψηφία, λέμε ότι η πραγματική τιμή είναι πιο κοντά στο 3,6 σε σχέση με το 3,5 ή το 3,7. Δηλαδή, η πραγματική τιμή βρίσκεται μεταξύ 3,55 και 3,65. Δείξτε ότι η ποσοστιαία αβεβαιότητα που προκύπτει από μια τέτοια ακρίβεια δύο σημαντικών ψηφίων ποικίλλει ανάλογα με την τιμή του αριθμού και είναι μικρότερη για τους αριθμούς που αρχίζουν από το 9 και μεγαλύτερη για τους αριθμούς που αρχίζουν από το 1. Ειδικότερα, ποια είναι η αβεβαιότητα που προκύπτει από τους αριθμούς α) 1,1, (β) 5,0 και (γ) 9,9;
54. Η μετατόπιση των ηπείρων σημειώνεται περίπου με την ταχύτητα με την οποία μεγαλώνουν τα νύχια σας. Εκτιμήστε την ηλικία του Ατλαντικού ωκεανού, δεδομένου ότι το ανατολικό και το δυτικό ημισφαίριο απομακρύνονται μεταξύ τους.
55. Οδηγήτε στον Καναδά και προσπαθείτε να αποφασίσετε αν θα βάλατε βενζίνη πριν ή μετά τη διέλευση των συνόρων. Η βενζίνη στις Ηνωμένες Πολιτείες κοστίζει \$ 3,67/gallon, στον Καναδά κοστίζει \$1,32/L, ενώ το καναδέζικο δολάριο αξίζει 95 ¢ σε νόμισμα των ΗΠΑ. Πού πρέπει να βάλετε βενζίνη;
56. Στους Ολυμπιακούς Αγώνες του Λονδίνου το 1908, ο μαραθώνιος των 26 mi επεκτάθηκε κατά 385 yd για να τοποθετηθεί η γραμμή του τερματισμού μπροστά από το βασιλικό κάθισμα. Αυτή η απόσταση στη συνέχεια καθιερώθηκε. Ποια είναι η απόσταση του μαραθωνίου σε km, στο πλησιέστερο μέτρο;
57. Μια περιβαλλοντική οργάνωση ασκεί πιέσεις για να κλείσει ένα εργοστάσιο που λειτουργεί με λιγνίτη το οποίο παράγει ηλεκτρική ενέργεια με ρυθμό 1 GW (ένα bat, W, είναι μια μονάδα μέτρησης ισχύος – ο ρυθμός παραγωγής ή κατανάλωσης ενέργειας). Προτείνουν την αντικατάσταση του εργοστασίου με ανεμογεννήτριες που να μπορούν να παράγουν 1,5 MW η καθεμία, αλλά αυτές, λόγω της νηνεμίας, αξιοποιούν κατά μέσο όρο μόνο το 30% αυτής της ισχύος. Εκτιμήστε τον αριθμό των ανεμογεννητριών που χρειάζονται.
58. Υπολογίστε το πάχος της κάθε σελίδας αυτού του βιβλίου.

- BIO** 59. Υπολογίστε το εμβαδόν του δέρματος στο σώμα σας.
60. Υπολογίστε τη μάζα του νερού στους ωκεανούς του πλανήτη και εκφράστε τη με προθέματα SI.
61. Εκφράστε τα ακόλουθα με τις κατάλληλες μονάδες και σημαντικά ψηφία: α)  $1,0 \text{ m} + 1 \text{ mm}$ , β)  $1,0 \text{ m} \times 1 \text{ mm}$ , γ)  $1,0 \text{ m} - 999 \text{ mm}$  και δ)  $1,0 \text{ m} / 999 \text{ mm}$ .
62. Θέλετε να αγοράσετε έναν νέο υπολογιστή και κάποιος πωλητής ισχυρίζεται ότι το τσιπ του μικροεπεξεργαστή στο μοντέλο που σας ενδιαφέρει περιέχει 50 δισ. ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Το τσιπ έχει πλευρά 5 mm και χρησιμοποιεί τεχνολογία 14 nm, που σημαίνει ότι κάθε εξάρτημα έχει διάμετρο 14 nm. Έχει δίκιο ο πωλητής;
63. Το Café Milagro πωλεί καφέ στο Διαδίκτυο. Μια συσκευασία μισού κιλού καφέ κοστίζει 8,95 δολάρια, χωρίς τα έξοδα αποστολής. Αν παραγγείλετε έξι συσκευασίες, η αποστολή κοστίζει 6,90 δολάρια. Ποιο είναι το κόστος ανά συσκευασία όταν συμπεριλάβετε τα έξοδα αποστολής;
64. Η υφήλιος καταναλώνει ενέργεια με ρυθμό περίπου 500 EJ ανά έτος, όπου το joule (J) είναι η μονάδα ενέργειας στο SI. Μετατρέψτε αυτή τη μονάδα σε βατ (W), όπου  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ , και στη συνέχεια υπολογίστε τον μέσο ρυθμό κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας σε βατ.
65. Ο όγκος μιας σφαίρας δίνεται από τη σχέση  $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ , όπου  $r$  είναι η ακτίνα της σφαίρας. Για στερεές σφαίρες με την ίδια πυκνότητα –για παράδειγμα, κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό– η μάζα είναι ανάλογη με τον όγκο. Ο πίνακας που ακολουθεί παραθέτει τις διαμέτρους και τις μάζες από διαφορετικές χαλύβδινες σφαίρες. (α) Προσδιορίστε μια ποσότητα η οποία, όταν η μάζα σχεδιαστεί σε συνάρτηση με αυτή, θα πρέπει να δημιουργεί μια ευθεία γραμμή. (β) Σχεδιάστε το διάγραμμα, βρείτε μια ευθεία βέλτιστης προσαρμογής και καθορίστε την κλίση της (η οποία σε αυτή την περίπτωση είναι ανάλογη της πυκνότητας που έχουν οι σφαίρες).

Διάμετρος (cm)	0,75	1,00	1,54	2,16	2,54
Μάζα (g)	1,81	3,95	15,8	38,6	68,2

### Προβλήματα μετάβασης

- BIO** Το ανθρώπινο σώμα περιέχει περίπου  $10^{14}$  κύτταρα και η διάμετρος ενός τυπικού κυττάρου είναι περίπου 10  $\mu\text{m}$ . Όπως όλα τα συνηθισμένα υλικά, τα κύτταρα δημιουργούνται από άτομα. Η μέση διάμετρος του ατόμου είναι 0,1 nm.
66. Πώς συγκρίνεται ο αριθμός των ατόμων σε ένα κύτταρο με τον αριθμό των κυττάρων του σώματος; Είναι  
α. μεγαλύτερος  
β. μικρότερος  
γ. περίπου ίδιος
67. Ο όγκος ενός κυττάρου είναι περίπου  
α.  $10^{-10} \text{ m}^3$ .  
β.  $10^{-15} \text{ m}^3$ .  
γ.  $10^{-20} \text{ m}^3$ .  
δ.  $10^{-30} \text{ m}^3$ .
68. Η μάζα ενός κυττάρου είναι περίπου  
α.  $10^{-10} \text{ kg}$ .  
β.  $10^{-12} \text{ kg}$ .  
γ.  $10^{-14} \text{ kg}$ .  
δ.  $10^{-16} \text{ kg}$ .
69. Ο αριθμός των ατόμων στο σώμα είναι πιο κοντά στο  
α.  $10^{14}$ .  
β.  $10^{20}$ .  
γ.  $10^{30}$ .  
δ.  $10^{40}$ .

### Απαντήσεις στις ερωτήσεις του κεφαλαίου

**Απάντηση στην εναρκτήρια ερώτηση του κεφαλαίου**  
Όλοι!

### Απαντήσεις στις ερωτήσεις «ΤΟ ΚΑΤΑΝΟΗΣΑΤΕ;»

- 1.1 (γ)
- 1.2 (1)  $2,998 \times 10^{-9}$ , 0,0008,  $3,14 \times 10^7$ ,  $0,041 \times 10^9$ ,  $55 \times 10^6$   
(2) 0,0008,  $0,041 \times 10^9$  και  $55 \times 10^6$  (με δύο σημαντικά ψηφία),  $3,14 \times 10^7$ ,  $2,998 \times 10^{-9}$