

## Πειράματα Φυσικής Β΄ Γυμνασίου

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 1. Πείραμα και θεωρία

Η Φυσική είναι η επιστήμη που διαμόρφωσε και συνεχίζει να διαμορφώνει ο άνθρωπος, στην προσπάθειά του να κατανοήσει και να ερμηνεύσει τα **φυσικά φαινόμενα**, δηλαδή τις μεταβολές του φυσικού κόσμου που τον περιβάλλει. Για να πετύχει σ΄ αυτή του την προσπάθεια, επινοεί και χρησιμοποιεί κατάλληλες **φυσικές έννοιες**, και **φυσικά μεγέθη**, όπως για παράδειγμα, «υλικό σώμα», «βαρύτητα», «ηλεκτρικό πεδίο», ή ακόμα, «μήκος», «ταχύτητα», «ενέργεια», «θερμοκρασία», «φορτίο» κ.ά. Στη συνέχεια, στηριζόμενος στην εμπειρία του, επιχειρεί να βρει και να διατυπώσει **σχέσεις** μεταξύ των φυσικών μεγεθών, που είναι γνωστές ως **φυσικοί νόμοι**. Τέλος εντάσσει τους φυσικούς νόμους σε ευρύτερες λογικές κατασκευές, τις **φυσικές θεωρίες**.

Παραδείγματα φυσικών νόμων:

- α) «Αν αυξήσεις τη **θερμοκρασία** μιας μεταλλικής ράβδου, αυξάνεται το **μήκος** της».
- β) «Αν προσφέρεις **θερμότητα** στο νερό και η **θερμοκρασία** του φτάσει τους  $100^{\circ}\text{C}$ , σε ατμοσφαιρική **πίεση**  $1\text{atm}$ , τότε μετατρέπεται από **υγρό** σε **αέριο**».
- γ) «Η μετατόπιση ενός σώματος, όταν κινείται με σταθερή **ταχύτητα**, είναι ανάλογη με το **χρόνο** της **κίνησής** του».

Οι νόμοι και οι θεωρίες που διατυπώνονται στο πλαίσιο της Φυσικής δεν είναι αυθαίρετοι. Πρέπει να συμφωνούν με την «**πραγματικότητα**». Για να ελέγξεις αν αυτό πραγματικά συμβαίνει, πρέπει να καταφύγεις στο **πείραμα**.

**Πείραμα ονομάζουμε μια «καλοσχεδιασμένη ερώτηση που κάνει ο άνθρωπος στη φύση», με στόχο να επαληθεύσει ή να διαψεύσει ένα νόμο ή μια εικασία, ή για να ανακαλύψει έναν καινούργιο.**

Για παράδειγμα, για να ελέγξεις το παράδειγμα (β), δεν έχεις παρά να κάνεις το εξής: Μια μέρα που η ατμοσφαιρική πίεση είναι  $1\text{atm}$  να ζεστάνεις νερό σ΄ ένα δοχείο, παρακολουθώντας τη θερμοκρασία του με ένα θερμόμετρο και να ελέγξεις αν πραγματικά μετατρέπεται σε αέριο όταν η ένδειξη του θερμομέτρου φτάσει τους  $100^{\circ}\text{C}$ . Το πείραμα παίζει κυρίαρχο ρόλο στη Φυσική. Αυτό είναι που επιβεβαιώνει ή διαψεύδει τις υποθέσεις, νόμους και τις θεωρίες που διατυπώνει ο άνθρωπος στην προσπάθειά του να κατανοήσει τα φαινόμενα που συμβαίνουν γύρω του. Για το λόγο αυτό η Φυσική χαρακτηρίζεται ως **πειραματική επιστήμη**.

#### 2. Μέτρα ασφαλείας στο εργαστήριο

Όπως και στην καθημερινή μας ζωή, οι κίνδυνοι που μπορεί να παρουσιαστούν κατά τη διενέργεια των πειραμάτων είναι πολλοί. Γι΄ αυτό κατά την εκτέλεση **κάθε** εργαστηριακής άσκησης πρέπει να είσαι ιδιαίτερα προσεκτικός και πειθαρχημένος. Να ελέγχεις απόλυτα τις κινήσεις σου και να ακολουθείς πιστά τις οδηγίες του καθηγητή σου. Μια από τις δεξιότητες που πρέπει να αποκτήσεις μέσα στο εργαστήριο είναι η ικανότητα να εργάζεσαι με ασφάλεια.

Ειδικότερα, όταν είσαι μέσα στο εργαστήριο Φυσικής, είναι απαραίτητο να **γνωρίζεις** και να **εφαρμόζεις** τους κανόνες ασφαλείας όπως διατυπώνονται παρακάτω:

**1) Δεν χρησιμοποιώ καμιά συσκευή αν δεν μάθω καλά τον τρόπο λειτουργίας της και αν δεν ζητήσω άδεια από τον καθηγητή μου.**

**2) Έχω μελετήσει και γνωρίζω τι πρέπει να κάνω για να διεξαχθεί σωστά η εργαστηριακή άσκηση. Για κάθε απορία απευθύνομαι στον καθηγητή μου.**

**3) Φορώ προστατευτικά γυαλιά και ποδιά, εφ' όσον προβλέπεται από τους κανόνες ασφαλείας της άσκησης ή μου το ζητήσει ο καθηγητής μου.**

**4) Μόλις ολοκληρώσω τη συναρμολόγηση της διάταξης μιας εργαστηριακής άσκησης, καλώ τον καθηγητή μου να την ελέγξει. Σε καμιά περίπτωση δεν αρχίζω την εκτέλεση του πειράματος προτού πραγματοποιηθεί έλεγχος.**

**5) Ποτέ δεν τροφοδοτώ μια διάταξη με ηλεκτρική τάση αν δεν έχει προηγηθεί έλεγχος από τον καθηγητή μου και δεν έχει δοθεί η άδειά του.**

**6) Ποτέ δεν ανάβω μια εστία θέρμανσης, χωρίς την άδεια και την επίβλεψη του καθηγητή μου. Θυμάμαι να τη σβήνω αμέσως μετά την εκτέλεση της εργασίας.**

**7) Δεν πιάνω ποτέ χωρίς αντιθερμικό γάντι σκεύη ή συσκευές που έχουν θερμανθεί είτε από κάποια εστία θέρμανσης είτε λόγω της διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος.**

**8) Είμαι ιδιαίτερα προσεκτικός όταν χρησιμοποιώ γυάλινα σκεύη. Δεν τα πιέζω και τα κρατώ ή τα τοποθετώ με προσοχή για να μη σπάσουν και με τραυματίσουν.**

**9) Δεν πιάνω χημικές ουσίες. Όταν έρθει σε επαφή το δέρμα μου ή τα μάτια μου με κάποια χημική ουσία, αμέσως τα ξεπλένω με άφθονο νερό και ειδοποιώ τον καθηγητή μου.**

**10) Δεν μετακινούμαι άσκοπα από τη θέση μου χωρίς την άδεια του καθηγητή μου. Εργάζομαι υπεύθυνα και δεν κάνω αστεία με τους συμμαθητές μου.**

Όταν ολοκληρώσεις μια εργαστηριακή άσκηση και καταγράψεις τα πειραματικά αποτελέσματα, δεν πρέπει να ξεχάσεις να κάνεις μια τελευταία εργασία: Να αποσυναρμολογήσεις προσεκτικά τη διάταξη, να καθαρίσεις τον πάγκο και να τακτοποιήσεις τα όργανα και τα υλικά στις θέσεις που θα σου υποδείξει ο καθηγητής σου.

## ΜΕΤΡΗΣΗ - ΣΦΑΛΜΑΤΑ - ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

### 1. Πώς μετράμε ένα μέγεθος;

Τι θα κάνεις αν θελήσεις να μετρήσεις το πλάτος του βιβλίου σου; Το πιο πιθανό είναι ότι θα εφαρμόσεις διαδοχικά τις ακόλουθες ενέργειες:

- Παίρνεις ένα χάρακα (υποδεκάμετρο).
- Τοποθετείς τη χαραγή του χάρακα που αντιστοιχεί στο μηδέν στο ένα άκρο του βιβλίου.
- Ευθυγραμμίζεις το χάρακα με την ακμή του βιβλίου.
- Διαβάζεις την υποδιαίρεση του χάρακα που αντιστοιχεί στο άλλο άκρο της ακμής του βιβλίου.
- Έστω ότι βρήκες 20,92cm. Μπορείς να ονομάσεις το μήκος της ακμής που μέτρησες με ένα γράμμα (για παράδειγμα το  $a$ ) και να καταγράψεις το αποτέλεσμα της μέτρησής σου ως εξής:

$$a=20,92\text{cm}$$

Αν πάλι θέλεις να μετρήσεις τη μάζα του σώματός σου, αρκεί να ανέβεις πάνω σε μια ζυγαριά. Ο δείκτης ή η ψηφιακή της οθόνη θα σου δείξουν αμέσως ότι η μάζα σου είναι, για παράδειγμα, 53,45 Kg. Αν συμβολίσεις τη μάζα με το γράμμα  $m$ , μπορείς τότε να γράψεις:

$$m=53,45\text{kg}$$

Στην πρώτη περίπτωση πραγματοποιήσαμε μια **μέτρηση μήκους**. Στη δεύτερη μια **μέτρηση μάζας**. Είναι ολοφάνερο ότι ενεργήσαμε με πολύ διαφορετικό τρόπο για να πραγματοποιήσουμε τις δύο παραπάνω μετρήσεις. Ωστόσο και οι δύο διαδικασίες χαρακτηρίζονται με τον ίδιο όρο. Ονομάζονται **μετρήσεις**. Γιατί άραγε; Ποια είναι τα κοινά τους χαρακτηριστικά;

Κατά τη μέτρηση του μήκους, αν ξεχάσουμε τις λεπτομέρειες των ενεργειών μας, αυτό που κάναμε ουσιαστικά ήταν η σύγκριση του μήκους της ακμής του βιβλίου με ένα άλλο μήκος που έχουμε συμφωνήσει να το λέμε εκατοστό του μέτρου (cm). Το cm είναι η **μονάδα μέτρησης** μήκους που χρησιμοποιήσαμε. Προσδιορίζεται από το χάρακα που διαθέτουμε και από τους κάθε είδους χάρακες, κανόνες, μετροταινίες και άλλα όργανα μέτρησης μήκους που είναι βαθμονομημένα με τη συγκεκριμένη μονάδα. Έτσι βρήκαμε ότι το πλάτος του βιβλίου είναι 20,92 φορές το μήκος του ενός εκατοστού (cm).

Το ίδιο όμως κάναμε και κατά τη μέτρηση της μάζας. Η μηχανή (ζυγαριά) έχει κατασκευαστεί έτσι ώστε να μπορεί να συγκρίνει τη μάζα του σώματός μας με μια συγκεκριμένη μάζα (την ίδια για όλες τις παρόμοιες ζυγαριές) που ονομάζεται κιλό (kg). Στην περίπτωση αυτή το αποτέλεσμα που προέκυψε από τη σύγκριση της μάζας του σώματός μας με το κιλό το πληροφορηθήκαμε αυτόματα από το δείκτη και την κλίμακα της μηχανής ή από τη ψηφιακή της οθόνη: Το σώμα που ζυγίσαμε έχει μάζα 53,45 φορές τη μάζα του ενός κιλού.

Καταλήγουμε λοιπόν σε έναν ορισμό:

*Κάθε διαδικασία σύγκρισης δύο ομοειδών μεγεθών (ανεξαρτήτως του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται και του πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορεί να γίνει) ονομάζεται **μέτρηση**.*

Από τη μέτρηση ενός μεγέθους προκύπτει πάντοτε ένας αριθμός. Είναι το αποτέλεσμα της σύγκρισης του μεγέθους με τη μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιούμε. Αν επιλέξουμε άλλη μονάδα, το αποτέλεσμα της μέτρησης θα είναι διαφορετικό. Για

παράδειγμα, αν χρησιμοποιήσουμε ως μονάδα το μέτρο (m) αντί του cm, το αποτέλεσμα της μέτρησης της ακμής του βιβλίου θα είναι:

$$a=0,209\text{m}$$

και αν χρησιμοποιήσουμε ως μονάδα την ίντσα (in), το ίδιο μήκος θα το βρούμε:

$$a=8,2\text{in}$$

Για να έχουν οι άνθρωποι έναν ενιαίο τρόπο σύγκρισης των μεγεθών που μετράνε, **συμφώνησαν** να χρησιμοποιούν ένα κοινό «**σύστημα μονάδων μέτρησης**». Δηλαδή συμφώνησαν με ποιο τρόπο θα ορίσουν το μέτρο (m) για τη μέτρηση του μήκους, πώς θα ορίσουν το δευτερόλεπτο (s) για τη μέτρηση του χρόνου, το κιλό (kg) για τη μέτρηση της μάζας κλπ. Έτσι, κάθε μέγεθος έχει τη δική του μονάδα μέτρησης ως προς την οποία το μετράμε.

### Μέτρηση και Σφάλματα

Σε κάθε μέτρηση υπεισέρχεται πάντοτε ένα **σφάλμα**, μικρό ή μεγάλο. Το σφάλμα αυτό, όπως είδες και στα πειράματα που έκανες στην Α' Γυμνασίου, μπορεί να οφείλεται:

α) Σε **ατέλειες της κατασκευής του οργάνου** που χρησιμοποιούμε (ακρίβεια του οργάνου, κατάλληλη κλίμακα, κατασκευαστικές ατέλειες κλπ).

β) Σε **υποκειμενικές εκτιμήσεις** που μπορεί να κάνουμε κατά τη μέτρηση (στην τοποθέτηση των οργάνων μέτρησης, στην ανάγνωση της ένδειξης κλπ).

γ) Σε βαθύτερες αιτίες που είναι συνυφασμένες με την ίδια την δομή και τη λειτουργία του φυσικού κόσμου. [Για παράδειγμα, δεν μπορούμε να μετρήσουμε ταυτόχρονα και με απεριόριστη ακρίβεια τη θέση και την ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου, όσο περίπλοκες συσκευές και αν επινοήσουμε!]

Τα υποκειμενικά σφάλματα, που είναι αναπόφευκτα σε κάθε μέτρηση, μπορούμε να τα υπολογίσουμε. Το πετυχαίνουμε επαναλαμβάνοντας την ίδια μέτρηση πολλές φορές (του ίδιου μεγέθους, με τον ίδιο τρόπο και με το ίδιο όργανο). Η τιμή που προσεγγίζει με τη μεγαλύτερη ακρίβεια το μετρούμενο μέγεθος είναι η **μέση τιμή** όλων των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε.

### Ακρίβεια ενός οργάνου μέτρησης - Σημαντικά ψηφία

Ας προσπαθήσουμε να μετρήσουμε το πάχος ενός φύλλου του βιβλίου μας με ένα χάρακα. Διαπιστώνουμε ότι αυτό δεν είναι δυνατό. Δεν μπορούμε να είμαστε βέβαιοι για το αποτέλεσμα της μέτρησης. Ο χάρακας δεν είναι ένα όργανο αρκετά ακριβές για να κάνουμε μετρήσεις τόσο μικρών μηκών.

*Πώς θα προσδιορίσουμε και θα εκφράσουμε την **ακρίβεια** ενός οργάνου μέτρησης;*

Ας υποθέσουμε ότι τέσσερεις μαθητές, οι Α, Β, Γ και Δ, μετρούν με το χάρακά τους το πλάτος ( $a$ ) ενός βιβλίου και ανακοινώνουν τα αποτελέσματα:

Α: 20,35cm, ο Β: 20cm, ο Γ: 20,34624cm, ο Δ: 20,4cm.

Κάθε μαθητής κατέγραψε το αποτέλεσμα της μέτρησής του με ένα αριθμό που έχει ένα συγκεκριμένο αριθμό ψηφίων. *Τι σημαίνουν τα αριθμητικά ψηφία που προέκυψαν από κάθε μέτρηση;*

Ο Α έκανε τη μέτρησή του (20,35cm) με ακρίβεια τεσσάρων ψηφίων: Ισχυρίζεται ότι είναι σίγουρος για τα τρία πρώτα (το 2, το 0, και το 3), σχεδόν σίγουρος για το τελευταίο (το 5) και αβέβαιος για τα επόμενα ψηφία.

Ο Β έκανε τη μέτρησή του (20cm) με ακρίβεια δύο ψηφίων: Ισχυρίζεται ότι είναι σίγουρος για το 2, σχεδόν σίγουρος (ή σίγουρος) για το 0 και αβέβαιος για τα επόμενα ψηφία.

Ο Γ έκανε τη μέτρησή του (20,34624cm) με ακρίβεια 7 ψηφίων (!!): Ισχυρίζεται ότι είναι σίγουρος για το 2, το 0, το 3, το 4, το 6, το 2, σχεδόν σίγουρος για το τελευταίο ψηφίο (το 4) και αβέβαιος για τα επόμενα ψηφία.

Ο Δ έκανε τη μέτρησή του (20,4cm) με ακρίβεια τριών ψηφίων: Ισχυρίζεται ότι είναι σίγουρος για το 2, και το 0, σχεδόν σίγουρος (ή σίγουρος) για το 4 και αβέβαιος για τα επόμενα ψηφία.

Τα ψηφία του αριθμητικού αποτελέσματος κάθε μέτρησης, για τα οποία είμαστε σίγουροι (ή σχεδόν σίγουροι) θα τα ονομάζουμε **σημαντικά ψηφία της μέτρησης**. Ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων προσδιορίζει την **ακρίβεια της μέτρησης**. Έτσι, λέμε ότι:

Ο Α έκανε τη μέτρησή του με ακρίβεια τεσσάρων σημαντικών ψηφίων.

Ο Β έκανε τη μέτρησή του με ακρίβεια δύο σημαντικών ψηφίων.

Ο Γ έκανε τη μέτρησή του με ακρίβεια επτά σημαντικών ψηφίων.

Ο Δ έκανε τη μέτρησή του με ακρίβεια τριών σημαντικών ψηφίων.

Η ακρίβεια μιας μέτρησης εξαρτάται από το είδος των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούμε. Για παράδειγμα, άλλη ακρίβεια έχει μια μέτρηση που γίνεται με το χάρακα, άλλη (μεγαλύτερη ακρίβεια) μια μέτρηση που γίνεται με το διαστημόμετρο και διαφορετική μια μέτρηση που γίνεται με δέσμη laser.

*Είναι δυνατό με το χάρακα να κάνουμε μέτρηση με την ακρίβεια που ισχυρίζεται ο Γ; Ασφαλώς ΟΧΙ. Με το χάρακα μπορούμε να κάνουμε τις μετρήσεις του πλάτους του βιβλίου το πολύ με τέσσερα σημαντικά ψηφία. Η **μέγιστη ακρίβεια** στη μέτρηση εκφράζεται από το αποτέλεσμα που ανακοίνωσε ο Α:  $a=20,35\text{cm}$ .*

Ωστόσο, μπορεί να μη χρειάζεται να εκφράσουμε το αποτέλεσμα μιας μέτρησης με τη μέγιστη ακρίβεια που μας παρέχει το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιούμε. Στο παράδειγμά μας, είναι πιθανό να θέλουμε να εκφράσουμε το αποτέλεσμα με τρία ή με δύο σημαντικά ψηφία. Στη περίπτωση αυτή **στρογγυλοποιούμε** κατάλληλα το αριθμητικό αποτέλεσμα: έτσι, αν θέλουμε να εκφράσουμε το αποτέλεσμα της μέτρησης του πλάτους του βιβλίου με τρία σημαντικά ψηφία, το αποτέλεσμα θα είναι  $a=20,4\text{cm}$  και με δύο σημαντικά ψηφία  $a=20\text{cm}$ .

Συμπεραίνουμε ότι οι μετρήσεις των μαθητών Α, Β και Δ είναι αξιόπιστες: τα αποτελέσματα που ανακοίνωσαν διαφέρουν ως προς τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων, αλλά βρίσκονται μέσα στα περιθώρια της ακρίβειας που μας παρέχει ο χάρακας. Το αποτέλεσμα όμως που ανακοίνωσε ο Γ είναι αναξιόπιστο: ο χάρακας δεν μας παρέχει δυνατότητα μέτρησης με τόσα πολλά σημαντικά ψηφία.

**Σημείωση:** Αν εκφράσουμε το αποτέλεσμα  $a=20,35\text{cm}$  της μέτρησης του πλάτους του βιβλίου σε μέτρα, πρέπει να γράψουμε:  $a=0,2035\text{m}$ . Αν το εκφράσουμε σε χιλιόμετρα, θα γράψουμε:  $a=0,0002035\text{Km}$ . Βλέπουμε ότι στο αριθμητικό αποτέλεσμα εμφανίστηκαν μερικά μηδενικά, πριν το πρώτο μη μηδενικό ψηφίο της αρχικής έκφρασης (πριν από το 2). Πώς θα μετρήσουμε σε τέτοιες περιπτώσεις τα σημαντικά ψηφία της μέτρησης;

Είναι φανερό ότι ο αριθμός των μηδενικών αριστερά του πρώτου μη μηδενικού ψηφίου (αριστερά του 2 στα παραδείγματά μας) δεν επηρεάζει την ακρίβεια της μέτρησης, αλλά εξαρτάται από τις μονάδες ως προς τις οποίες εκφράζουμε το αποτέλεσμα. Επομένως για να βρούμε τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων αγνοούμε όλα τα μηδενικά αριστερά του πρώτου μη μηδενικού ψηφίου του αριθμητικού αποτελέσματος.

## 2. Πώς προκύπτουν τα σφάλματα στις μετρήσεις των φυσικών μεγεθών;

Ας γυρίσουμε στο παράδειγμα της μέτρησης της ακμής του βιβλίου. Αν ζητούσαμε από δέκα συμμαθητές σου να κάνουν με τον ίδιο χάρακα την ίδια μέτρηση, θα κατέληγαν άραγε όλοι στο ίδιο αποτέλεσμα; Είναι εξαιρετικά απίθανο! Το πιθανότερο είναι ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεών τους θα διέφεραν λίγο μεταξύ τους. Στον πίνακα Α καταγράφονται οι τιμές του μήκους μιας πλευράς ενός συγκεκριμένου βιβλίου που προέκυψαν από τις μετρήσεις δέκα μαθητών.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α		
α/α	Μαθητές	Μήκος της ακμής ( $a$ ) του βιβλίου του Κώστα σε cm
1	Κώστας	20,92
2	Γιάννης	20,90
3	Μαρία	20,89
4	Βασιλική	20,93
5	Γιώργος	20,88
6	Ελένη	20,90
7	Ηλίας	20,91
8	Σάββας	20,92
9	Άννα	20,90
10	Μαργαρίτα	20,89
<b>Μέση τιμή του <math>a</math> =</b>		<b>20,90</b>

Κάτι ανάλογο θα συμβεί αν εσύ ο ίδιος επαναλάβεις, για παράδειγμα, δέκα φορές την ίδια μέτρηση και τοποθετήσεις τα αποτελέσματα σ' ένα πίνακα παρόμοιο με τον πίνακα Α. Θα παρατηρήσεις ότι κάθε φορά που μετράς μια συγκεκριμένη απόσταση ή μια ορισμένη διάσταση ενός σώματος δεν καταλήγεις απαραίτητα στην ίδια τιμή. **Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στα σφάλματα που γίνονται κατά τη διεξαγωγή κάθε μέτρησης.**

*Ποιες είναι άραγε οι αιτίες των σφαλμάτων που επηρεάζουν το αποτέλεσμα μιας μέτρησης; Ποιο από τα αποτελέσματα που καταγράφουμε είναι το πλέον αξιόπιστο;*

Αν επαναλάβεις πολλές φορές τη μέτρηση του ίδιου μήκους (για παράδειγμα του πλάτους του βιβλίου), δεν είναι δύσκολο να ανακαλύψεις αρκετές αιτίες που ευθύνονται για τις μικρές διαφοροποιήσεις των αποτελεσμάτων που διαπιστώνεις. Παραθέτουμε μερικές από τις συνηθέστερες:

α) Κάθε φορά που διεξάγουμε τη μέτρηση, η αρχή του χάρακα δεν τοποθετείται πάντοτε ακριβώς στο ίδιο σημείο (βλ. σχήμα 1).

β) Αν το τέλος της ακμής του βιβλίου βρίσκεται μεταξύ δύο χαραγών του χάρακα, δεν μπορούμε να γνωρίζουμε με βεβαιότητα το τελευταίο ψηφίο του μετρούμενου μήκους. Έτσι αναγκαζόμαστε να καταφύγουμε σε υποκειμενική εκτίμηση. Για παράδειγμα, το αποτέλεσμα της μέτρησης του πλάτους του βιβλίου, που φαίνεται στο σχήμα 1, μπορεί να είναι 20,50, 20,55 ή 20,60cm.



Σχήμα 1

γ) Δεν είναι δυνατή η απόλυτη ευθυγράμμιση του χάρακα με το μετρούμενο αντικείμενο: Η καμπύλωση του χάρακα ή ο σχηματισμός μικρής γωνίας με την ακμή του βιβλίου μπορεί να επηρεάσουν τη μέτρηση και επομένως αποτελούν μια ακόμα αιτία σφαλμάτων (σχήμα 1).

Αντίστοιχες αιτίες σφαλμάτων μπορούμε να ανακαλύψουμε στη μέτρηση οποιουδήποτε φυσικού μεγέθους. Με βάση λοιπόν τις παραπάνω διαπιστώσεις καταλήγουμε στη διατύπωση ενός συμπεράσματος:

*Η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από πολλές μετρήσεις του ίδιου, σταθερού μεγέθους οφείλονται είτε σε αστάθμητους παράγοντες είτε σε υποκειμενικές εκτιμήσεις του παρατηρητή.*

Βέβαια όλοι αυτοί οι τυχαίοι ή υποκειμενικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις μας, δεν είναι δυνατό να ελεγχθούν και να αποφευχθούν πλήρως. Επομένως μπορούμε να ισχυριστούμε ότι όλες οι μετρήσεις ενός μεγέθους είναι μεταξύ τους ισοδύναμες και έχουν την ίδια αξιοπιστία, εφ' όσον τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις:

- Γίνονται με την ίδια προσοχή και κάτω από τις ίδιες οδηγίες.
- Οι συνθήκες του περιβάλλοντος διατηρούνται (κατά το δυνατόν) σταθερές και (περίπου) κοινές για όλες τις μετρήσεις.
- Πραγματοποιούνται με το ίδιο ή με πανομοιότυπα όργανα μέτρησης.

Με δεδομένες αυτές τις προϋποθέσεις όλες οι μετρήσεις που καταγράφονται στον πίνακα Α θεωρούνται ισοδύναμες. Καμία τους δεν μπορεί να χαρακτηριστεί «καλύτερη» ή «πιο πιθανή» από τις άλλες. Κάθε αποτέλεσμα προσεγγίζει με την ίδια πιθανότητα το «πραγματικό» μήκος της ακμής του βιβλίου. Επομένως αποδεχόμαστε ότι **η τιμή που προσεγγίζει με τη μεγαλύτερη ακρίβεια το μετρούμενο μήκος είναι η μέση τιμή (μέσος όρος) όλων των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε.**

Δηλαδή:

$$\sigma = (20,92 + 20,90 + 20,89 + 20,93 + 20,88 + 20,90 + 20,91 + 20,92 + 20,90 + 20,89) / 10 \\ = 20,90 \text{ cm}$$

Το αποτέλεσμα αυτό καταγράφεται στην τελευταία σειρά του πίνακα Α.

Πρέπει να τονιστεί ότι κατά τον υπολογισμό της μέσης τιμής κρατάμε στο τελικό αποτέλεσμα, τον ίδιο αριθμό σημαντικών ψηφίων με εκείνο των επιμέρους μετρήσεων. Αν προκύπτουν περισσότερα ψηφία, τα διαγράφουμε στρογγυλοποιώντας κατάλληλα το

τελευταίο σημαντικό ψηφίο. Για παράδειγμα, η μέση τιμή που προκύπτει για το  $a$ , με βάση τις τιμές του πίνακα Α είναι:

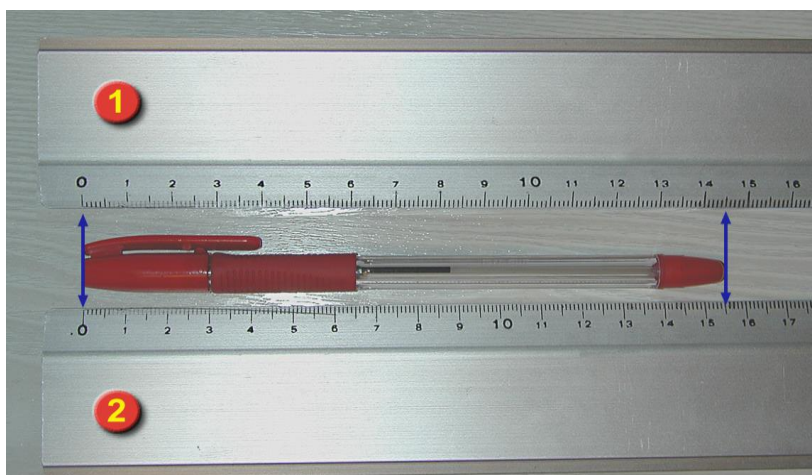
$$a=20,904\text{cm}$$

Επειδή οι μετρήσεις έχουν γίνει με προσέγγιση τεσσάρων σημαντικών ψηφίων, στρογγυλοποιούμε την τιμή του  $a$  και γράφουμε:

$$a=20,90\text{cm}$$

Τα σφάλματα των μετρήσεων που μελετήσαμε μέχρι τώρα μπορεί να οφείλονται σε τυχαίους

παράγοντες ή στις υποκειμενικές εκτιμήσεις του παρατηρητή. Ωστόσο υπάρχει και μια άλλη πιθανή αιτία σφαλμάτων: Η λανθασμένη κατασκευή ή η μη σωστή λειτουργία των οργάνων μέτρησης. Φαντάσου, για παράδειγμα, ότι οι υποδιαιρέσεις του ενός cm του χάρακα με τον οποίο μέτρησες το πλάτος του βιβλίου σου δεν έχουν *πραγματικά* μήκος ένα cm. Τότε οι μετρήσεις σου θα είναι εσφαλμένες λόγω της κακής κατασκευής του οργάνου (βλ. σχήμα 2). Τα σφάλματα που επηρεάζουν τις μετρήσεις μας και προέρχονται από λάθη στην κατασκευή ή τη λειτουργία των οργάνων μέτρησης, ονομάζονται **συστηματικά**. Τα συστηματικά σφάλματα σε αντίθεση με τα τυχαία μπορούμε να τα εξουδετερώσουμε και να τα αποφύγουμε. Αρκεί να κάνουμε προσεκτικό έλεγχο και δοκιμή των οργάνων μέτρησης πριν από τη χρήση τους.



Σχήμα 2: Σύμφωνα με τον χάρακα (1) που έχει λανθασμένη βαθμολόγηση, το μήκος του στυλογράφου του σχήματος είναι 14,5cm, ενώ το πραγματικό του μήκος είναι 15,5cm. [Ο χάρακας 2 είναι σωστά βαθμονομημένος]

### **3. Πώς σχεδιάζουμε πειραματικά τη γραφική παράσταση δύο φυσικών μεγεθών που σχετίζονται μεταξύ τους;**

Ας ξεκινήσουμε πάλι με ένα παράδειγμα:

Γνωρίζεις ότι όσο περισσότερο χρόνο θερμαίνεις μια ορισμένη μάζα νερού (πρωτού αρχίσει να βράζει) τόσο περισσότερο αυξάνεται η θερμοκρασία του. Η θερμοκρασία του νερού *σχετίζεται* με το χρόνο θέρμανσής του. Πώς μπορούμε να βρούμε πειραματικά και να παραστήσουμε με ένα διάγραμμα τη *σχέση* μεταξύ της **θερμοκρασίας** του νερού και του **χρόνου** που το θερμαίνουμε;

Αρκεί να **σχεδιάσουμε** και να **εκτελέσουμε** ένα κατάλληλο πείραμα. Μια πειραματική διαδικασία χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις, θα μπορούσε να περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Ρίχνουμε σ' ένα δοχείο ζέσεως μια ποσότητα (~200 g) νερού και το τοποθετούμε σε μια ήπια εστία θέρμανσης.
- Φέρνουμε ένα θερμόμετρο σε επαφή με το νερό έτσι ώστε να μας δείχνει διαρκώς τη θερμοκρασία του.
- Χρησιμοποιούμε ένα χρονόμετρο για να μετράμε το χρόνο θέρμανσης του νερού.
- Ανάβουμε την εστία και μετά από λίγο θέτουμε σε λειτουργία το χρονόμετρο, καταγράφοντας ταυτόχρονα και την ένδειξη του θερμομέτρου. Σημειώνουμε σ' ένα πίνακα τις τιμές της θερμοκρασίας ανά μισό ή ένα λεπτό.
- Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 60 - 70C, κλείνουμε την εστία και σταματούμε τις μετρήσεις.

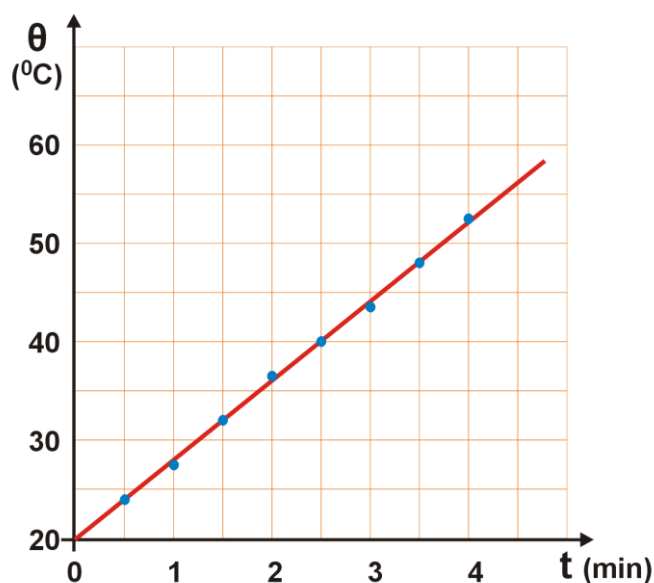


ΠΙΝΑΚΑΣ Β		
χρόνος θέρμανσης $t$ min	θερμοκρασία του νερού $\theta$ C	μεταβολή της θερμοκρασίας από την αρχική της τιμή $\Delta\theta$ C
0	20	0
0,5	24	4
1	27,5	7,5
1,5	32	12
2	36,5	16,5
2,5	40	20
3	43,5	23,5
3,5	48	28
4	52,5	32,5

Ας υποθέσουμε ότι τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος είναι αυτά που περιέχουν οι δύο πρώτες στήλες του πίνακα Β. Παρατηρούμε, όπως εξ άλλου ήταν αναμενόμενο, ότι καθώς μεταβάλλεται ο χρόνος θέρμανσης, η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται. Εμείς όμως επιδιώκουμε κάτι περισσότερο: θέλουμε να ανακαλύψουμε με ποια **μαθηματική σχέση** σχετίζονται και να διατυπώσουμε τον αντίστοιχο φυσικό νόμο.

Για να πετύχουμε το στόχο μας αυτό, αρκεί να σχεδιάσουμε τη **γραφική παράσταση** της θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το χρόνο θέρμανσης με βάση τα πειραματικά δεδομένα του πίνακα Β.

Ο σωστός και μεθοδικός σχεδιασμός μιας γραφικής παράστασης, με βάση κάποια πειραματικά δεδομένα, απαιτεί την εφαρμογή ορισμένων απλών οδηγιών:



Σχήμα 3

α) Με ένα χάρακα σχεδιάζουμε πάνω σε ένα χιλιοστομετρικό (μιλιμετρέ) φύλλο ένα σύστημα ορθογωνίων αξόνων. Επιλέγουμε κατάλληλη κλίμακα και στον οριζόντιο άξονα τοποθετούμε τις τιμές του χρόνου από 0 έως 5 min. Αντίστοιχα, στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούμε τις τιμές της θερμοκρασίας, από 10 έως 50 C.

β) Εντοπίζουμε και σημειώνουμε πάνω στο φύλλο τα σημεία με συντεταγμένες τις τιμές χρόνου και θερμοκρασίας που αναγράφονται σε κάθε σειρά του πίνακα Β (βλ. σχήμα 3).

γ) Με τη βοήθεια του χάρακα παρατηρούμε ότι όλα τα σημεία που έχουμε τοποθετήσει (με βάση τις πειραματικές τιμές του πίνακα Β) βρίσκονται περίπου επάνω ή πολύ κοντά σε μια ευθεία γραμμή (βλ. σχήμα 3).

*Γιατί άραγε συμβαίνει αυτό;*

Την απάντηση μπορείς να τη μαντέψεις αν συνδυάσεις ό,τι έχεις ήδη μάθει σχετικά με τα σφάλματα των μετρήσεων. Θυμήσου ότι κάθε σημείο που σημειώσαμε πάνω στο χιλιοστομετρικό χαρτί έχει προκύψει από τη μέτρηση δύο φυσικών μεγεθών: του χρόνου θέρμανσης (που τον μετρήσαμε με το χρονόμετρο) και της θερμοκρασίας του νερού (που τη μετρήσαμε με το θερμόμετρο). Γνωρίζεις όμως ότι κάθε μέτρηση περιέχει σφάλμα. Επομένως όλες οι τιμές του χρόνου και της θερμοκρασίας που έχουν καταγραφεί στον πίνακα Β (εφ' όσον έχουν προκύψει από μετρήσεις) περιέχουν κάποιο σφάλμα. Άρα και οι θέσεις των αντίστοιχων πειραματικών σημείων στο διάγραμμα δεν είναι απόλυτα ακριβείς.

Πώς θα σκεφτούμε λοιπόν για να σχεδιάσουμε τη γραφική παράσταση θερμοκρασίας - χρόνου που προσδιορίζεται από το σύνολο των πειραματικών μας σημείων;

Αφού η θέση τους δεν είναι απόλυτα σωστή, δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται όλα επάνω στη γραμμή που παριστάνει τη σχέση των παραπάνω μεγεθών. Πρέπει ωστόσο να βρίσκονται πολύ κοντά σε αυτή. *Σχεδιάζουμε επομένως μια απλή συνεχή γραμμή που περνάει όσο γίνεται πιο κοντά από το σύνολο των σημείων. Αφήνουμε έξω από τη γραμμή, δεξιά και αριστερά της, περίπου τον ίδιο αριθμό σημείων* (βλ. σχήμα 3).

#### 4. Μεταβολές μεγεθών

Ας παρατηρήσουμε πάλι τις τιμές της θερμοκρασίας και του χρόνου που έχουν καταγραφεί στον πίνακα Β:

Τη στιγμή  $t_1=0,5\text{min}$ , η θερμοκρασία του νερού ήταν  $\theta_1=24^\circ\text{C}$ . Τη χρονική στιγμή  $t_2=1,5\text{min}$  η θερμοκρασία του νερού ήταν  $\theta_2=32^\circ\text{C}$ . Πώς θα απαντήσεις στο ερώτημα «Πόσο μεταβλήθηκε η θερμοκρασία του νερού από τη στιγμή  $t_1$  έως τη στιγμή  $t_2$ ;», ή στο ισοδύναμο ερώτημα «Πόση είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας στο χρονικό διάστημα που προσδιορίζεται από τις χρονικές στιγμές  $t_1$  και  $t_2$ ;»

Η απάντηση προκύπτει αμέσως από την καθημερινή μας εμπειρία: Δεν έχεις παρά να αφαιρέσεις από τη θερμοκρασία  $\theta_2=32^\circ\text{C}$  τη θερμοκρασία  $\theta_1=24^\circ\text{C}$ . Δηλαδή η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού από τη στιγμή  $t_1=0,5\text{min}$  μέχρι τη στιγμή  $t_2=1,5\text{min}$  είναι

$$\theta_2-\theta_1=(32-24)\text{C}=8^\circ\text{C}$$

Τη μεταβολή της θερμοκρασίας τη συμβολίζουμε με το σύμβολο  $\Delta\theta$  και γράφουμε:

$$\Delta\theta=\theta_2-\theta_1$$

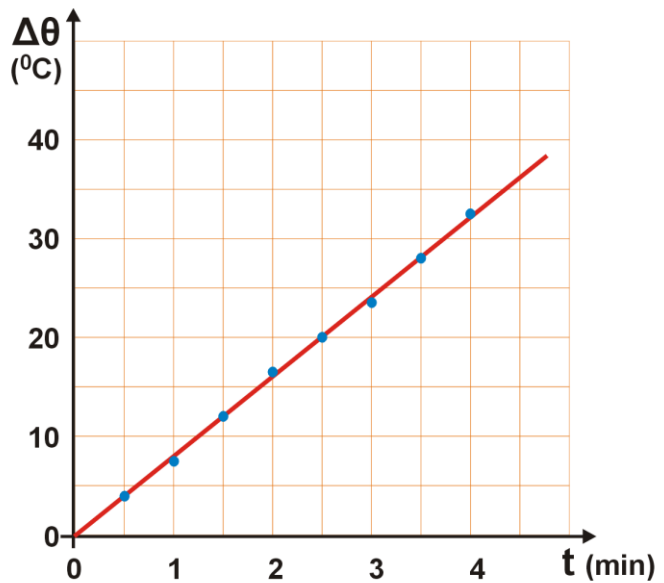
οπότε στο προηγούμενο παράδειγμα η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι

$$\Delta\theta=8^\circ\text{C}$$

Πολλές φορές μας ενδιαφέρει να υπολογίζουμε τη μεταβολή ενός μεγέθους (για παράδειγμα της θερμοκρασίας) από την αρχική του τιμή, δηλαδή από τη χρονική στιγμή  $t=0$ , που αρχίσαμε τις μετρήσεις. Έτσι σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα Β διαπιστώνουμε ότι:

- Τη στιγμή  $t=0,5\text{min}$  η θερμοκρασία του νερού έχει μεταβληθεί από την αρχική της τιμή κατά  $\Delta\theta=(24-20)\text{C}=4^\circ\text{C}$ .
- Τη στιγμή  $t=1\text{min}$  η θερμοκρασία του νερού έχει μεταβληθεί από την αρχική της τιμή κατά  $\Delta\theta=(27,5-20)^\circ\text{C}=7,5^\circ\text{C}$  κλπ.

Όλες αυτές τις μεταβολές της θερμοκρασίας από την αρχική της τιμή μπορούμε να τις καταχωρίσουμε στην τρίτη στήλη του πίνακα Β, όπως φαίνεται στην αντίστοιχη εικόνα. Με βάση τις τιμές αυτές κατασκευάζουμε τη γραφική παράσταση της **μεταβολής** της θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το χρόνο θέρμανσης. Αν ακολουθήσεις τους γνωστούς σου πλέον, κανόνες σχεδιασμού της, θα καταλήξεις σε ένα γράφημα παρόμοιο με αυτό του σχήματος 4.



Σχήμα 4

Παρατήρησε ότι σύμφωνα με το γράφημα του σχήματος 4 η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού σε συνάρτηση με το χρόνο θέρμανσης παριστάνεται με μια ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων. Επομένως, όπως γνωρίζεις από τα Μαθηματικά, τα δύο αυτά μεγέθη είναι ανάλογα. Ώστε από την επεξεργασία των πειραματικών μας δεδομένων καταλήξαμε στη διατύπωση ενός φυσικού νόμου: *Αν η παροχή θερμότητας από την εστία θέρμανσης είναι σταθερή, τότε, η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού είναι ανάλογη του χρόνου που το θερμαίνουμε.*

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Κατά τις Εργαστηριακές Ασκήσεις, οι οποίες διαρθρώνονται με τη μορφή Φύλλων Εργασίας, η εκπαιδευτική διαδικασία ακολουθεί τα βήματα της επιστημονικής / εκπαιδευτικής μεθόδου με διερεύνηση. Αυτή εφαρμόζεται στα βιβλία «Φυσικά – Ερευνώ και Ανακαλύπτω» της Ε΄ και Στ΄ δημοτικού και στο βιβλίο «Η Φυσική με Πειράματα» της Α΄ γυμνασίου. Τα προτεινόμενα βήματα της επιστημονικής / εκπαιδευτικής μεθόδου με διερεύνηση είναι: α. παρατηρώ, πληροφορούμαι, γνωρίζω, β. αναρωτιέμαι, υποθέτω, σχεδιάζω, γ. πειραματίζομαι, μετρώ, δ. συμπεραίνω, γενικεύω και ε. εφαρμόζω, εξηγώ, ερμηνεύω. Τα βήματα αυτά είναι ακριβώς αντίστοιχα με τα βήματα της ιστορικά καταξιωμένης επιστημονικής μεθόδου για την έρευνα: α. έναυσμα ενδιαφέροντος, β. διατύπωση υποθέσεων, γ. πειραματισμός, δ. διατύπωση θεωρίας και ε. συνεχής έλεγχος.

### Αναφορά

Φυσική Β΄ Γυμνασίου, Ν. Αντωνίου - Π. Δημητριάδης - Κ. Καμπούρης - Κ. Παπαμιχάλης - Λ. Παπασιμπα, Υπ. Παιδείας - Ινστ. Εκπ. Πολιτικής, Αθήνα 2013