

# ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΑΡΧΩΝ ΤΗΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΠΡΩΤΟΕΤΕΙΣ ΦΟΙΤΗΤΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ Π. ΧΑΝΤΣΑΡΙΔΟΥ, ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΚΟΥΛΙΔΗΣ ΚΑΙ ΧΑΡΙΤΩΝ Μ.  
ΠΟΛΑΤΟΓΛΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ, ΑΠΘ, 541 24  
email: ahant@physics.auth.gr

## Περίληψη

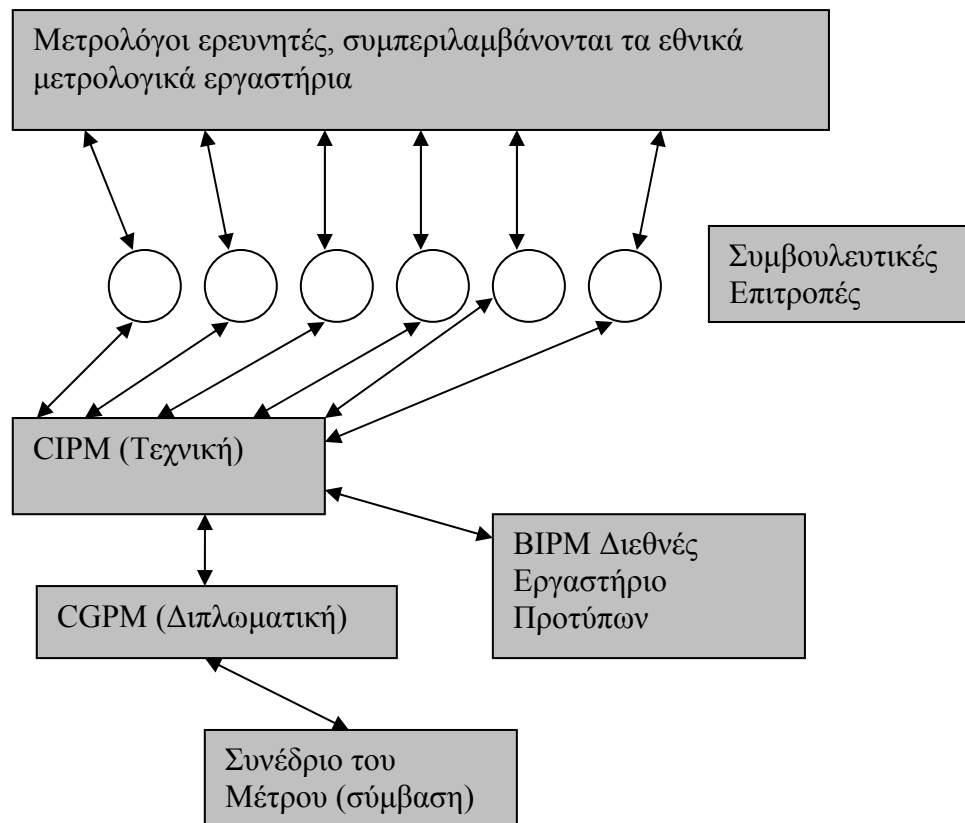
Καθώς η μετρολογία έχει εξελιχθεί και επεκταθεί σε διάφορους κλάδους της επιστήμης, και έχει καθιερώσει ένα παράδειγμα στις διαδικασίες μέτρησης και βαθμονόμησης, είναι απαραίτητο να εκπαιδύσουμε τους μελλοντικούς επιστήμονες στις αρχές της μετρολογίας. Για να φτάσουμε αυτό τον στόχο έχουμε εισαγάγει ένα εκπαιδευτικό σύνολο για το εισαγωγικό εργαστήριο των φοιτητών των θετικών επιστημών. Δίνουμε έμφαση σε ουσιαστικές πλευρές της μετρολογίας, όπως ιχνηλασιμότητα, αβεβαιότητα και μετρητικό πρωτόκολλο. Το πακέτο εδράζεται στην μέτρηση του μήκους και περιλαμβάνει: τον ορισμό της μονάδας, την υποδιαίρεση και τα πολλαπλάσια, εκτίμηση της αβεβαιότητας και μέτρηση καθορισμένων μηκών. Ειδικά για τους φοιτητές της φυσικής την μονάδα μήκους που διαλέξαμε την χρησιμοποιήσαμε για να μετρήσουμε το μήκος του εκκρεμούς, και μέσω της μέτρησης της περιόδου μελετήσαμε τη σχέση της περιόδου με το μήκος. Εφαρμόσαμε το εκπαιδευτικό πακέτο για τέσσερα χρόνια τόσο στο εισαγωγικό εργαστήριο των πρωτοετών φοιτητών καθώς και στους τελειόφοιτους φοιτητές στα πλαίσια του κατ' επιλογή μαθήματος «Μετρολογία και Συστήματα Ποιότητας» με πολύ καλά αποτελέσματα.

*Λέξεις-Κλειδιά: ιχνηλασιμότητα, αβεβαιότητα, διδακτική, μέτρηση μήκους, προπτυχιακοί φοιτητές*

## Εισαγωγή

Η μετρολογία έχει μακρά ιστορία που ξεκινά από τους αρχαίους καιρούς, όπου από τις ιστορικές πηγές μπορούμε να διαπιστώσουμε αρκετές όψεις της σύγχρονης μετρολογίας [1,2]. Η αρχή της σύγχρονης μετρολογίας μπορεί να τοποθετηθεί στην εγκαθίδρυση της νομικής βάσης του διεθνούς συστήματος των φυσικών μονάδων στο “Convention of the Meter” το 1875. Αργότερα το 1960 έγινε αποδεκτό το σύστημα SI από το “Convention of the Meter”. Το σχήμα 1 μας δείχνει την υποστηρικτική νομική βάση της Convention, με τις διπλωματικές και τεχνικές περιοχές. Η νομική υποστήριξη σε κάθε επίπεδο εξαρτάται από το αμέσως χαμηλότερο επίπεδο. Με όλη αυτή την δομή έγινε δυνατό να γενικευθεί η χρήση των μονάδων του SI και μερικώς να επαληθευτεί το σλόγκαν του συνεδρίου του 1875: «μέτρα παντού, μέτρα για τον καθένα» [3].

Σήμερα η μετρολογία βρίσκεται μπροστά σε ένα καινούργιο μετασχηματισμό καθώς καινούργιες ανακαλύψεις έχουν κάνει την υλοποίηση και αναπαράσταση των μονάδων ευκολότερη και πιο θεμελιώδη [4]. Επιπλέον η απαίτηση των συστημάτων ποιότητας για διακριβομένα όργανα μέτρησης με την απαραίτητη ιχνηλασιμότητα έχει κάνει την πρόσβαση σε τέτοιες υπηρεσίες πιο εύκολη, πιο προσιτή και πιο κοντά σε περισσότερους ανθρώπους με την δημιουργία επιχειρήσεων που προσφέρουν τέτοιες υπηρεσίες.



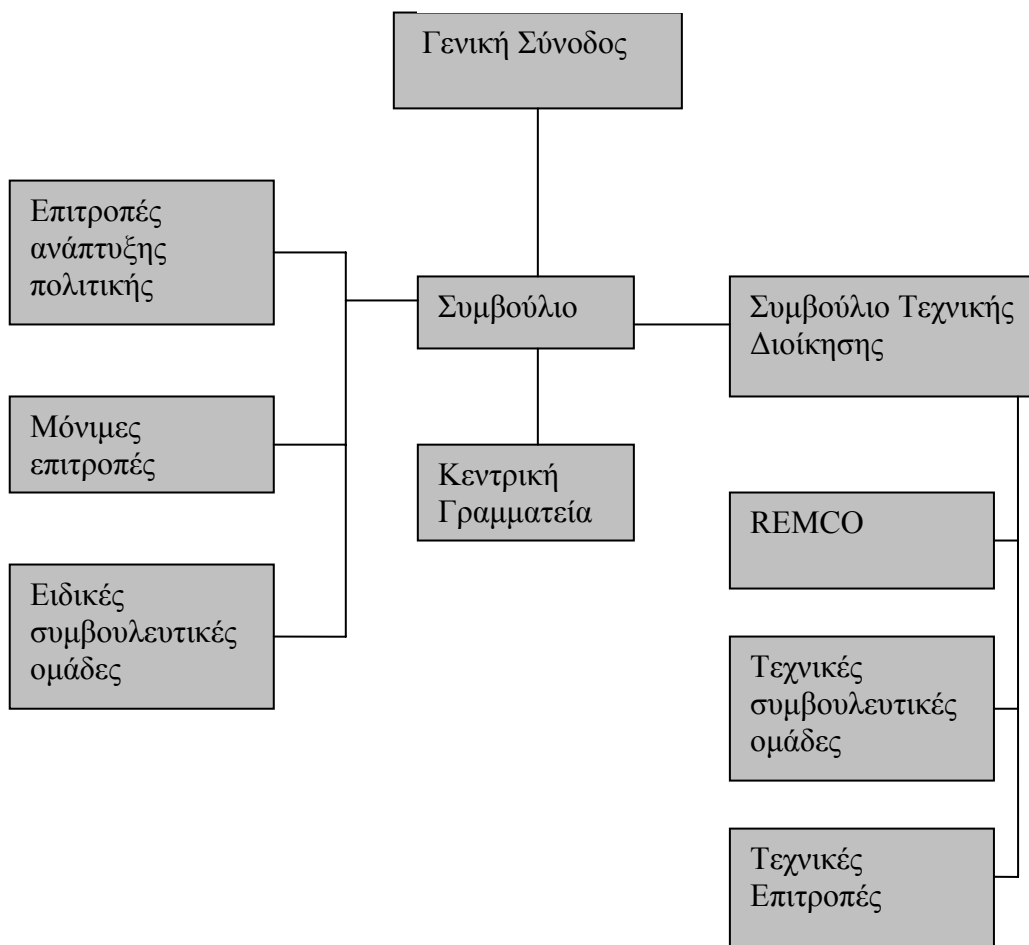
Σχήμα 1. Η δομή της συνθήκης

Παρόλη την παραπάνω πρόοδο, η εκπαίδευση των επιστημόνων υστερεί πολύ. Συνήθως τα εργαστήρια έχουν μη διακριβωμένα όργανα, δεν υπάρχει διδασκαλία των αρχών της μετρολογίας, η εκτίμηση της αβεβαιότητας είναι στοιχειώδης και σχεδόν τίποτε δεν αναφέρεται για την παρούσα κατάσταση της μετρολογίας και του μετρολογικού νομικού συστήματος. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να σχεδιάσουμε και να δοκιμάσουμε ένα εκπαιδευτικό πακέτο για το εισαγωγικό εργαστήριο των φοιτητών των θετικών επιστημών. Για την πρακτική εφαρμογή χρησιμοποιούμε την μέτρηση του μήκους, που χρησιμοποιείται συχνά και έχει ενδιαφέρον για όλους τους φοιτητών των θετικών επιστημών.

#### **Σχεδιασμός και υλοποίηση του εκπαιδευτικού πακέτου**

Παράλληλα με το διεθνές σύστημα μονάδων και το υποστηρικτικό μετρολογικό και νομικό σύστημα υπάρχει μία άλλη δομή και ένα άλλο νομικό σύστημα, αυτό του Διεθνούς Οργανισμού Σταθερότυπων (International Standards Organization, ISO) [5]. Το ISO καθιέρωσε με την σύμφωνη γνώμη των διάφορων ενδιαφερομένων και επέκτεινε την εισαγωγή των σταθερότυπων στις διάφορες πλευρές της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η διαδικασία εισαγωγής σταθερότυπων είναι μια διαδικασία της εξάλειψης των περιττών διαφοροποιήσεων, η οποία οδηγεί σε προϊόντα που είναι ευκολότερο να παραχθούν, να επεξεργαστούν, να μεταφερθούν, να εμπορευθούν, να επιδορθωθούν και να ανακυκλωθούν. Βασικό στην επίτευξη αυτού του στόχου είναι το υπάρχον και εξελισσόμενο διεθνές μετρολογικό σύστημα.

## ΔΟΜΗ ΤΟΥ ISO



Σχήμα 2. Δομή του ISO

Ας εξετάσουμε ένα συγκεκριμένο σταθερότυπο, δηλ. το ISO 216. [6,7], το οποίο αναφέρεται στο χαρτί γραφείου και τα μεγέθη του. Για να οριστούν οι διάφοροι τύποι χαρτιού ο σταθερότυπος προτείνει την χρήση του βάρους ανά τετραγωνικό μέτρο. Το χαρτί του εκτυπωτή και του φωτοαντιγραφικού για παράδειγμα έχει  $80 \text{ g/m}^2$ . Αυτός ο ορισμός κάνει εύκολο τον υπολογισμό του βάρους για ένα δεδομένο μέγεθος χαρτιού με έναν πολλαπλασιασμό. Τώρα όσον αφορά τα μεγέθη, ο σταθερότυπος πρώτα επιλέγει τον λόγο των δύο πλευρών, το οποίο ορίζεται να είναι η τετραγωνική ρίζα του 2 και είναι γνωστό ως πηλίκο Lichtenberg. Ο λόγος αυτός είναι κοντά στην χρυσή τομή και είναι μια επιλογή για λόγους αισθητικής αλλά και πρακτικής όπως θα δούμε παρακάτω. Το χαρτί στο γραφείο χρησιμοποιείται για την αλληλογραφία, για τα κείμενα, τις παρουσιάσεις και τις πινακίδες. Καθώς το περιεχόμενο μπορεί να μεταφερθεί από ένα μέγεθος χαρτιού σε ένα άλλο, είναι απαραίτητο να γίνεται εύκολα, πράγμα που βάζει έναν περιορισμό στα μεγέθη του χαρτιού. Ο κανόνας που επιβάλεται, είναι η επιφάνεια του χαρτιού να διπλασιάζεται εάν πηγαίνουμε σε μεγαλύτερο μέγεθος και να υποδιπλασιάζεται αν πηγαίνουμε σε μικρότερο. Συνεπώς για να υλοποιήσουμε τον σταθερότυπο ISO 216 είναι απαραίτητος μόνο ο λόγος των πλευρών και η επιφάνεια ενός χαρτιού, καθώς όλα τα άλλα μεγέθη μπορούν εύκολα να παραχθούν. Παρατηρούμε ότι αυτό το σύστημα είναι εύκολο

να εφαρμοστεί και είναι χρήσιμο την καθημερινή εργασία γραφείου. Επίσης αυτός ο σταθερότυπος εφαρμόζεται σχεδόν διεθνώς, τα μεγέθη υλοποιούνται χρησιμοποιώντας διακριβωμένα όργανα μέτρησης και δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν μηχανές που επεξεργάζονται χαρτί διάφορων μεγεθών ή παραγωγοί που παράγουν μεγέθη διαφορετικά από τον σταθερότυπο καθώς οι δύο διαδικασίες παρόλο ότι είναι ανεξάρτητες ακολουθούν τον ίδιο σταθερότυπο.

Είναι προφανές από όλα τα παραπάνω ότι το χαρτί γραφείου έχει μήκη που έχουν αναφορά στο διεθνές πρότυπο μήκους, υπάρχουν παντού και ως τέτοια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονάδα μήκους. Το επόμενο στάδιο είναι να ορίσουμε πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια της μονάδας. Για τα πολλαπλάσια τα πράγματα είναι απλά, γιατί υπάρχουν πολλά αντίγραφα της μονάδας τα οποία μπορούν να παρατεθούν για να προκύψουν τα πολλαπλάσια. Τα υποπολλαπλάσια έχουν μεγαλύτερη δυσκολία καθώς κάποιος συνήθως απαιτείται η χρήση γεωμετρικών οργάνων όπως ο διαβήτης. Για να αποφύγουμε την χρήση επιπλέον οργάνων, ακολουθούμε την διαδικασία ψηφιοποίησης όπως χρησιμοποιείται για την μετατροπή συνεχών τιμών σε ψηφιακές κατάλληλες για επεξεργασία με τον υπολογιστή. Είναι καλά γνωστό ότι αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται με την συνεχή υποδιαίρεση με το 2. Έτσι αν έχουμε ένα δυαδικό ψηφιακό αριθμό με 11 ψηφία τότε η μικρότερη υποδιαίρεση είναι  $1/2^{11}$ . Η υποδιαίρεση με το δύο πραγματοποιείται πολύ εύκολα χωρίς επιπλέον συσκευές και είναι η διαδικασία που επιλέγουμε.

Για να αντιμετωπίσουμε το θέμα της αβεβαιότητας, πρέπει να εισαγάγουμε τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις μας. Ο πίνακας με τους παράγοντες περιλαμβάνει την αβεβαιότητα στο αρχικό μήκος, την μικρότερη υποδιαίρεση, την θερμοκρασία δωματίου και υγρασία και αυτόν που πραγματοποιεί τις μετρήσεις. Από το σύνολο των παραγόντων, αυτό που οφείλεται στον αριθμό των υποδιαιρέσεων, οι οποίες στην περίπτωσή μας είναι  $2^6$ , έτσι το μικρότερο μήκος που μπορούμε να αναγνώσουμε είναι περίπου 0,15 cm. Όλες οι άλλες αβεβαιότητες είναι πολύ μικρότερες και μπορούν με ασφάλεια να αγνοηθούν.

### **Εφαρμογή και αποτελέσματα**

Το εκπαιδευτικό πακέτο έχει το πρώτο μέρος που αναφέρεται στην μετρολογία, την ιχνηλασιμότητα, την αβεβαιότητα, την επιλογή της μονάδας και τις υποδιαιρέσεις και τα πολλαπλάσια της που είναι κοινό σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής. Το δεύτερο μέρος μπορεί να είναι διαφορετικό για κάθε εφαρμογή. Στα πλαίσια του εισαγωγικού εργαστηρίου για τους πρωτοετής φοιτητές του Τμήματος Φυσικής του ΑΠΘ, και το κατ' επιλογή μάθημα «Μετρολογία και Συστήματα Ποιότητας» του 8<sup>ου</sup> εξαμήνου προτείναμε και υλοποιήσαμε δύο εφαρμογές. Η πρώτη αφορά την μέτρηση του μήκους του απλού εκκρεμούς σε μονάδες της μεγάλης διάστασης μιάς σελίδας A4. Για κάθε μήκος μετρούμε την περίοδο και έτσι μπορούμε με την γραφική παράσταση περιόδου-μήκους να βρούμε την σχέση ανάμεσα στην περίοδο και το μήκος του εκκρεμούς και την επιτάχυνση του πεδίου βαρύτητας της γης σε μονάδες  $A4/s^2$ . Το αποτέλεσμα αυτό είναι συγκρίσιμο με παρόμοια πειράματα που μπορούν να γίνουν σε κάθε μέρος του κόσμου καθώς σελίδες A4 χρησιμοποιούνται σχεδόν παντού. Η μετατροπή στις μονάδες του SI γίνεται με τον πολλαπλασιασμό επί το μήκος του προτύπου, δηλ. 297 mm.

Η δεύτερη εφαρμογή αναφέρεται στην εξάρτηση της επιμήκυνσης ελαστικού σώματος από την δύναμη που εφαρμόζεται. Το πείραμα σχεδιάστηκε έτσι ώστε οι μετρήσεις να στηρίζονται μόνο στην μέτρηση μήκους. Αυτό επιτυγχάνεται αν επιλέξουμε η δύναμη να είναι το βάρος ποσότητας νερού που βρίσκεται μέσα σε ένα κυλινδρικό δοχείο μικρού βάρους. Η μάζα του νερού μέσα στο κυλινδρικό δοχείο και το βάρος είναι ανάλογα του ύψους της στήλης του νερού. Αρχικά ξεκινούμε με το κύλινδρο σχεδόν γεμάτο νερό και μετρούμε το ύψος της στήλης του νερού και την επιμήκυνση του ελαστικού. Κατόπιν αδειάζουμε λίγο νερό και επαναλαμβάνουμε την μέτρηση μέχρι να μείνει λίγο νερό. Με αυτή την διαδικασία παίρνουμε τις τιμές για να σχεδιάσουμε το διάγραμμα δύναμης-επιμήκυνσης για το ελαστικό. Διαπιστώνουμε ότι αυτή η σχέση δεν είναι γραμμική.

Από την πολυετή εφαρμογή του εκπαιδευτικού πακέτου, την δουλειά που πραγματοποίησαν οι φοιτητές στο εργαστήριο και τα πειραματικά αποτελέσματα συμπεράναμε ότι οι φοιτητές κατανόησαν στις βασικές αρχές της μετρολογίας όπως εφαρμόστηκαν στις συγκεκριμένες εφαρμογές. Επίσης παρατηρήσαμε ότι πραγματοποίησαν τα πειράματα με επιτυχία και παρουσίασαν και ανέλυσαν τα αποτελέσματα γραφικά με συνέπεια. Συνεπώς το εκπαιδευτικό πακέτο με τις δύο εφαρμογές μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο για την εισαγωγή των φοιτητών στην μετρολογία.

### **Συμπεράσματα**

Σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε ένα εκπαιδευτικό πακέτο για την εισαγωγή των φοιτητών στις βασικές μετρολογικές αρχές, την επιλογή μιάς πρότυπης μονάδας μήκους, την ιχνηλασιμότητα, την εκτίμηση των αβεβαιοτήτων για την μέτρηση του μήκους και την εκτέλεση δύο πειραμάτων για την διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην περίοδο και το μήκος του απλού εκκρεμούς και την σχέση ανάμεσα στην δύναμη και την επιμήκυνση ελαστικού. Από την εξέταση των φοιτητών και τα αποτελέσματα των πειραμάτων και την ανάλυσή τους μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το εκπαιδευτικό πακέτο συνεισφέρει στην εκπαίδευση των φοιτητών των θετικών επιστημών πάνω σε μετρολογικά θέματα. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στο σχολικό εργαστήριο με την κατάλληλη προσαρμογή.

### **Αναφορές**

- [1] Γ. Βαρουφάκη, *Αρχαία Ελλάδα και Ποιότητα* (Αίολος, Αθήνα 1996)
- [2] A.E. Berriman, *Historical metrology* (Greenwood, New York, 1957)
- [3] Barry N. Taylor, editor, *The international System of Units (SI)*, NIST Spec. Pub. 330 (US GPO, Washington, DC, 1991). The approved translation of the sixth edition of the BIPM publication on SI.
- [4] B.W. Petley, *The Fundamental Physical Constants and The Frontier of Measurement* (Hilger, Bristol, 1988).
- [5] H.J. de Vries, *Standardization* (Kluwer, Boston, 1999)
- [6] ISO 216:1975, Writing paper and certain classes of printed matter - Trimmed sizes - A and B series.
- [7] Arthur D. Dunn, *Notes on the standardization of paper sizes*. Ottawa, Canada, 54 pages, 1972