**Κατασκευή και βαθμονόμηση ενός θερμομέτρου στην τάξη**

Αλήθεια, πόσο δύσκολο είναι να φτιάξει κάποιος ένα θερμόμετρο; Πόσο δύσκολο να το βαθμονομήσει; Τι γνώσεις πρέπει να έχει ώστε να μπορεί να κάνει μία τέτοια κατασκευή και βαθμονόμηση; Σε αυτά και σε άλλα ερωτήματα θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε σε αυτό το άρθρο. Σκοπός μας είναι να προτείνουμε την κατασκευή και τη βαθμονόμηση ενός θερμομέτρου για την υποστήριξη του 4ου φύλλου εργασίας της Φυσικής της Α΄ Γυμνασίου (Καλκάνης κ.α., 2013).

**Η θερμική διαστολή**

Η κυβική θερμική διαστολή των σωμάτων, η αύξηση ΔV του όγκου ενός σώματος, περιγράφεται εν γένει από τη σχέση:

ΔV=γ∙V0∙Δθ (1)

όπου γ είναι ο συντελεστής κυβικής διαστολής, V0 ο αρχικός όγκος του σώματος και Δθ η μεταβολή της θερμοκρασίας του.

Ο συντελεστής γ εξαρτάται από αν το σώμα είναι στερεό, υγρό ή αέριο αλλά για σώματα στη στερεή ή υγρή κατάσταση εξαρτάται από το υλικό. Γενικά, μεγαλύτερο συντελεστή γ έχουν τα αέρια, ακολουθούν τα υγρά και έπονται τα στερεά. Στον Πίνακα 1 δίνονται μερικές ενδεικτικές τιμές για στερεά και υγρά.

|  |  |
| --- | --- |
| **ΣΤΕΡΕΑ** | |
| γυαλί pyrex | 4,0 x 10-6 grad-1 |
| αλουμίνιο | 71,7 x 10-6 grad-1 |
| χαλκός | 50,4 x 10-6 grad-1 |
| χρυσός | 58,8 x 10-6 grad-1 |
| σίδηρος | 36,6 x 10-6 grad-1 |
| πάγος (-10 έως 0 °C) | 152,1 x 10-6 grad-1 |
| **ΥΓΡΑ** | |
| νερό | 207 x 10-6 grad-1 |
| υδράργυρος | 182 x 10-6 grad-1 |
| γλυκερίνη | 505 x 10-6 grad-1 |
| βρώμιο | 1132 x 10-6 grad-1 |
| αιθανόλη | 1120 x 10-6 grad-1 |
| πετρέλαιο | 900 x 10-6 grad-1 |

Πίνακας 1. Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή κυβικής διαστολής γ (Μπεθάνης, 2014).

Αντίστοιχα, όλα τα αέρια έχουν σχεδόν τον ίδιο κυβικό συντελεστή ο οποίος ισούται περίπου με γ=3333·10-6 grad-1, όπως προκύπτει από την καταστατική εξίσωση των αερίων [1].

Από τη σχέση [1] προκύπτει ότι η μεταβολή του όγκου είναι ανάλογη με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Συνεπώς, αυτή η σχέση αναλογίας μπορεί να αξιοποιηθεί για τη μέτρηση θερμοκρασιών μέσω της μέτρησης μηκών. Αυτή είναι, πράγματι, η βασική αρχή λειτουργίας των θερμομέτρων.

**Επιλέγοντας τα υλικά κατασκευής ενός θερμομέτρου καθημερινής χρήσης**

Τι φυσικής κατάστασης σώμα είναι βολικό να χρησιμοποιήσουμε, του οποίου η θερμική διαστολή θα αντιστοιχηθεί με τη μεταβολή της θερμοκρασίας; Στερεό, υγρό ή αέριο; Εξαρτάται. Για ένα θερμόμετρο καθημερινής χρήσης είναι δύσκολο να χρησιμοποιήσουμε κάποιο στερεό υλικό γιατί ο θερμικός συντελεστής κυβικής διαστολής γ είναι πολύ μικρός, οπότε δεν θα έχουμε μία αξιόλογη αύξηση του μήκους (εκτός βέβαια αν θα θέλαμε να μετρήσουμε πολύ ψηλές θερμοκρασίες). Από την άλλη, ούτε αέριο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εύκολα, αφού λόγω του πολύ μεγάλου συντελεστή γ θα είχαμε μεγάλες μεταβολές του όγκου (εκτός αν θέλαμε ένα ευαίσθητο θερμόμετρο που να μετράει μικρές μεταβολές θερμοκρασίας). Μοιάζει, λοιπόν, το καταλληλότερο μέσο για ένα θερμόμετρο καθημερινής χρήσης να είναι κάποιο υγρό.

*Ποιο υγρό θα χρησιμοποιήσουμε;*

Κάθε υγρό έχει ένα συγκεκριμένο σημείο πήξης και ένα σημείο βρασμού. Για να λειτουργεί σωστά το θερμόμετρό μας, θα πρέπει το υγρό να μην αλλάζει φάση στο εύρος των θερμοκρασιών που επιθυμούμε να χρησιμοποιηθεί: έστω από -10 0C έως 110 0C. Άρα, θα πρέπει να έχει σημείο πήξης μικρότερο από -10 0C και σημείο βρασμού μεγαλύτερο από 110 0C. Έτσι ένα τέτοιο θερμόμετρο δεν μπορεί να περιέχει οινόπνευμα το οποίο έχει σημείο βρασμού 78 0C. Συνεπώς, τα θερμόμετρα του εμπορίου που θερμομετρούν σε αυτό το εύρος θερμοκρασιών κακώς λέγονται θερμόμετρα οινοπνεύματος καθώς δεν περιέχουν οινόπνευμα. Ακόμη και αν είναι κλεισμένος ο σωλήνας που περιέχει το υγρό, για να βράζει το οινόπνευμα πάνω από τους 110 0C θα πρέπει η πίεση στο σωλήνα να είναι αρκετές ατμόσφαιρες, γεγονός που θα καθιστούσε ακριβή και δύσκολη την κατασκευή ενός τέτοιου θερμομέτρου.

Επίσης, η διαστολή του υγρού που θα χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να μην είναι «ανώμαλη» όπως αυτή του νερού. Στην περίπτωση του νερού, από την ανάγνωση της στήλης δεν μπορούμε να αποφανθούμε μονοσήμαντα σχετικά με τη θερμοκρασία του, αφού για το ίδιο ύψος της στήλης νερού γύρω από τους 4 0C που παρουσιάζει την μεγαλύτερη πυκνότητα, αντιστοιχούν δύο διαφορετικές θερμοκρασίες. Επιπλέον, η διαστολή του νερού για μεγαλύτερες θερμοκρασίες δεν είναι γραμμική.

Ένα υγρό που μπορούμε, σύμφωνα με τα παραπάνω, να χρησιμοποιήσουμε είναι το πετρέλαιο αφού αυτό έχει σημείο βρασμού πάνω από 200 0C, σημείο πήξης χαμηλότερο από -40 0C, αλλά και μεγάλο συντελεστή διαστολής σε σχέση με άλλα υγρά όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1. Πράγματι, τα σύγχρονα θερμόμετρα που μετράνε στην κλίμακα -10 0C έως 110 0C, περιέχουν είτε πετρέλαιο είτε τολουόλιο με προσθήκη κάποιας χρωστικής ουσίας. Επίσης, στην κλίμακα για την οποία θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε το θερμόμετρο, η αύξηση του όγκου του πετρελαίου είναι ανάλογη της αύξησης της θερμοκρασίας του, αποφεύγοντας προβλήματα όπως αυτά που προκύπτουν από την «ανώμαλη» συμπεριφορά του νερού.

Στο σημείο αυτό ίσως γεννηθεί στον αναγνώστη η απορία γιατί, παρά όλα τα παραπάνω, για πάρα πολλά χρόνια, μέχρι πρόσφατα, επιλεγόταν ως υγρό ο υδράργυρος. Μάλιστα, όπως βλέπουμε από τον Πίνακα 1, ο υδράργυρος έχει το μικρότερο συντελεστή διαστολής από τα υπόλοιπα υγρά. Υπάρχουν δύο σοβαροί λόγοι για την επιλογή του.

Ο πρώτος έχει να κάνει με το μεγάλο σημείο βρασμού του υδραργύρου που ισούται με 356,7 0C, γεγονός που τον καθιστά το καταλληλότερο υλικό για τη κατασκευή θερμομέτρου το οποίο να μπορεί να μετράει υψηλές θερμοκρασίες, αφού τα υπόλοιπα διαδεδομένα υγρά έχουν αρκετά χαμηλότερο σημείο βρασμού.

Ο δεύτερος λόγος είναι ότι με τη χρήση του υδραργύρου μπορούμε να φτιάξουμε ένα θερμόμετρο που να διατηρεί προς ανάγνωση τη μέγιστη καταγεγραμμένη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό δημιουργείται ένα στένωμα στη βάση του θερμομέτρου. Έτσι, όταν ο όγκος του υδραργύρου τείνει να ελαττωθεί λόγω της ελάττωσης της θερμοκρασίας, ο υδράργυρος πρέπει να περάσει από αυτό το στένωμα. Όμως, λόγω της μεταλλικής φύσης του υγρού δεν υπάρχει η απαιτούμενη δύναμη συνοχής ώστε να υπάρχει ροή μέσα από το στένωμα, με αποτέλεσμα η ροή να διακόπτεται. Έτσι, το θερμόμετρο συνεχίζει να δείχνει τη μέγιστη θερμοκρασία που κατέγραψε. Αυτά τα θερμόμετρα είναι κατάλληλα για ιατρικούς σκοπούς, αφού σε αυτή την περίπτωση αφαιρώντας το θερμόμετρο από τον ασθενή, δεν πέφτει η στάθμη του υδραργύρου οπότε μπορούμε να διαβάσουμε τη θερμοκρασία του ασθενούς. Με ένα απλό τίναγμα, χρησιμοποιώντας την αρχή της αδράνειας, «βοηθάμε» τον υδράργυρο να περάσει από το στένωμα και επαναφέρουμε το θερμόμετρο στην αρχική του κατάσταση.

*Εναπομείναντα προβλήματα προς λύση*

Έχοντας επιλέξει το υγρό που θα χρησιμοποιηθεί για να αντιστοιχηθούν οι μεταβολές του όγκου του με την ένδειξη της θερμοκρασίας, δεν έχουν λυθεί και όλα τα προβλήματα που συναντήσει κανείς στην πράξη. Θα πρέπει να γίνουν μερικές ακόμη επιλογές.

Για την εύκολη και ακριβή βαθμονόμηση ενός θερμομέτρου θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας σωλήνας κυλινδρικός ή πρισματικός, ώστε η αύξηση του όγκου του υγρού να είναι ανάλογη με την αύξηση του ύψους της στήλης στο σωλήνα.

Η διαστολή του υλικού του σωλήνα μέσα στο οποίο είναι το υγρό θα πρέπει να είναι πολύ μικρότερη από τη διαστολή του υγρού ώστε η ανύψωση της στήλης του υγρού στο σωλήνα να παραμένει ανάλογη της αύξησης του όγκου του υγρού που περιέχει. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να επιλεγεί ένα υλικό το οποίο να έχει συντελεστή διαστολής γ πολύ μικρότερο από αυτόν του υγρού, για παράδειγμα του πετρελαίου. Αυτό συμβαίνει για το γυαλί, αφού σύμφωνα με τον Πίνακα 1 είναι γγυαλιού<<γπετρελαίου, αλλά δεν συμβαίνει για παράδειγμα για το πλαστικό. Άρα, ο σωλήνας που θα χρησιμοποιηθεί προτείνεται να είναι γυάλινος και σε καμία περίπτωση πλαστικός.

Τέλος, θα πρέπει η θερμοχωρητικότητα του θερμομέτρου να είναι αρκετά μικρότερη από τη θερμοχωρητικότητα του σώματος που θερμομετρούμε, ώστε όταν σώμα και θερμόμετρο έρθουν σε θερμική επαφή η τελική θερμοκρασία του σώματος να μην διαφέρει αισθητά από την αρχική θερμοκρασία του σώματος. Κατά συνέπεια το μέγεθος του θερμομέτρου πρέπει να είναι σχετικά μικρό συγκρινόμενο με το προς θερμομέτρηση αντικείμενο [2].

**Ένα σύντομο χρονικό της βαθμονόμησης των θερμομέτρων**

Μολονότι όργανα μέτρησης της θερμοκρασίας, τα θερμοσκόπια, είχαν επινοηθεί ήδη από τον Ήρωνα και το Φίλωνα, ήταν ο Γαλιλαίος που εφηύρε ένα στοιχειώδες θερμοσκόπιο νερού, το οποίο, για πρώτη φορά, έδωσε τη δυνατότητα να μετρηθούν οι μεταβολές της θερμοκρασίας. Το θερμοσκόπιο αυτό βασίζεται στην αρχή της διαστολής του αέρα μέσα σε ένα σωλήνα.

Ο πρώτος που έφτιαξε ένα θερμόμετρο όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σήμερα, φαίνεται να είναι ο Φαρενάιτ το 1724. Αρχικά χρησιμοποίησε οινόπνευμα και στη συνέχεια υδράργυρο. Για να βαθμονομήσει το θερμόμετρό του ο Φαρενάιτ έπρεπε να επιλέξει δύο σταθερές θερμοκρασίες. Αρχικά παρατήρησε ότι αν σε νερό με πάγο διαλύσει κάποιο αλάτι η θερμοκρασία του διαλύματος πέφτει αρκετά. Το πόσο πολύ πέφτει εξαρτάται από το είδος του αλατιού καθώς και την ποσότητα του αλατιού που θα διαλυθεί. Ο Φαρενάιτ διαπίστωσε ότι η θερμοκρασία πέφτει περισσότερο όταν διαλύεται στο νερό με πάγο χλωριούχο αμμώνιο. Αυτό οφείλεται στη μικρή γραμμομοριακή μάζα καθώς και στη μεγάλη διαλυτότητα αυτού του αλατιού. Με τη διάλυση λοιπόν χλωριούχου αμμωνίου σε νερό με πάγο πέτυχε τη μικρότερη θερμοκρασία που μπορούσε να σημειώσει στο εργαστήριό του. Τη θερμοκρασία αυτή την αντιστοίχισε σε 0 βαθμούς επειδή δεν επιθυμούσε την αναφορά αρνητικών θερμοκρασιών. Τους 100 βαθμούς, πιθανολογείται, ότι τους αντιστοίχισε στη θερμοκρασία του αλόγου του, αφού διαπίστωσε ότι τα άλογα διατηρούσαν σταθερή θερμοκρασία και μάλιστα μεγαλύτερη από αυτή των ανθρώπων.

Ο δεύτερος που πρότεινε μία άλλη κλίμακα μέτρησης της θερμοκρασίας ήταν ο Κέλσιος το 1741. Αντιστοίχισε το 0 με τη θερμοκρασία βρασμού του νερού και το 100 με τη θερμοκρασία που το νερό συνυπάρχει με τον πάγο. Πιθανολογώ ότι και αυτός το έκανε για να μην παρουσιάζονται στην πράξη αρνητικές θερμοκρασίες, αφού πολλές φορές χρειαζόταν να μετρηθούν θερμοκρασίες κάτω από τη θερμοκρασία πήξεως του νερού, ενώ εκείνη την εποχή σπάνια χρειαζόταν να μετρηθούν θερμοκρασίες πάνω από το σημείο βρασμού του νερού. Μετά το θάνατό του ο Λιμναίος πρότεινε την αντιστροφή της κλίμακας.

Οι 0 βαθμοί Φαρενάιτ αντιστοιχούν περίπου στους -18 βαθμούς Κελσίου και οι 100 βαθμοί Φαρενάιτ στους 38 βαθμούς Κελσίου. Δηλαδή αν έχετε νερό με πάγο και διαλύσετε αρκετό χλωριούχο αμμώνιο, η θερμοκρασία θα κατέβει στους -18 0C ενώ αν θερμομετρήσετε ένα άλογο θα βρείτε ότι έχει θερμοκρασία 38 0C.

Τέλος, γύρω στο 1860 ο Κέλβιν πρότεινε την κλίμακα της απόλυτης θερμοκρασίας η οποία έχει ως κατώτερο σημείο το 0 το οποίο αντιστοιχεί στους -273,15 0C. Σε αυτή την κλίμακα δεν υπάρχουν εξ ορισμού αρνητικές θερμοκρασίες.

**Βαθμονομώντας ένας θερμόμετρο στην τάξη**

Στο πλαίσιο του μαθήματος της Φυσικής της Α’ Γυμνασίου, προβλέπεται, στο 4ο φύλλο εργασίας (Καλκάνης κ.α., 2013), η βαθμονόμηση ενός ήδη βαθμονομημένου θερμομέτρου. Η βαθμονόμηση ενός ήδη έτοιμου θερμομέτρου κρύβει όλη τη Φυσική που βρίσκεται πίσω από αυτήν. Συγκεκριμένα στερεί από τους μαθητές να μάθουν ότι:

* Η θερμοκρασία του νερού γύρω από τον πάγο είναι πάντα η ίδια ανεξάρτητα της ποσότητας του νερού ή του πάγου.
* Η θερμοκρασία του νερού που βράζει είναι πάντα η ίδια ανεξάρτητα της ποσότητας του νερού που βράζει.
* Αν βαθμονομήσουμε με 0 την κλίμακα στην πρώτη περίπτωση και με 100 στη δεύτερη, τότε βυθίζοντας το θερμόμετρο σε νερό θερμοκρασίας 50 βαθμών η στάθμη της στήλης του υγρού του θερμομέτρου θα ανέβει ακριβώς στη μέση (γραμμικότητα).

*Μία εναλλακτική πρόταση*

Προτείνουμε ότι αντί οι μαθητές να βαθμονομήσουν ένα έτοιμο θερμόμετρο, να φτιάξουν και να βαθμονομήσουν ένα θερμόμετρο αερίου, όπως αυτό του Γαλιλαίου. Μία τέτοια κατασκευή μπορεί και πρέπει να αναδείξει, επιπλέον από τα παραπάνω, ότι η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του νόμου της διαστολής των σωμάτων. Όταν τα αέρια ζεσταίνονται τότε διαστέλλονται, εφόσον η πίεση είναι σταθερή.

Η κατασκευή του θερμομέτρου έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. γίνεται με απλά και ακίνδυνα μέσα
2. η βαθμονόμηση γίνεται σχετικά εύκολα
3. μπορούμε να συγκρίνουμε με αυτό αντικειμενικά δύο σώματα με την ίδια περίπου θερμοκρασία
4. μας επιτρέπει να μιλήσουμε για την ακρίβεια μέτρησης των οργάνων

*Κατασκευή και βαθμονόμηση του θερμομέτρου*

Υλικά που απαιτούνται:

* Ένα γυάλινο μπουκαλάκι, από φάρμακο ή από ούζο, όγκου 50 mL.
* Ένας γυάλινος σωλήνας μικρής διατομής και ύψους 25-30 cm
* Νερό βρύσης
* Λίγο τσάι ή άλλη χρωστική ουσία
* Κόλλα στεγανοποίησης ή θερμοσιλικόνη
* Βραστήρας
* Θερμόμετρο του εμπορίου ηλεκτρονικό ή πετρελαίου
* Μερικά μπουκάλια νερού όγκου 1,5 L
* Ψαλίδι
* Μαρκαδόρος

Προσθέτουμε στο μπουκαλάκι 25 mL χρωματιστό νερό [3]. Τοποθετούμε το γυάλινο σωλήνα μέσα στο μπουκάλι και τον στεγανοποιούμε με τη κόλλα στεγανοποίησης ή με θερμοσιλικόνη. Αυτό το στάδιο είναι πολύ σημαντικό για την επιτυχία κατασκευής του θερμομέτρου, αφού η μη καλή στεγανοποίηση επιτρέπει την εισαγωγή ή την εξαγωγή αέρα με αποτέλεσμα το θερμόμετρο να μη μετράει σωστά [4]. Αφού περιμένουμε μέχρι να στεγνώσει η κόλλα, προσθέτουμε χρωματιστό νερό στο γυάλινο σωλήνα ώστε να φθάσει το νερό λίγο πιο πάνω από το μπουκάλι (Εικόνα 1). Το θερμόμετρο είναι έτοιμο.



Εικόνα 1. Το ολοκληρωμένο θερμόμετρο.

Απομένει η βαθμονόμησή του. Η διαδικασία που μπορεί να ακολουθηθεί είναι η εξής:

Σε δύο μπουκάλια νερού του 1,5L, από τα οποία έχουμε κόψει τα στόμια, προσθέτουμε νερό της βρύσης και νερό από το βραστήρα αντίστοιχα. Με τη βοήθεια του θερμομέτρου του εμπορίου και προσθαφαιρώντας νερό της βρύσης ή από τον βραστήρα, ρυθμίζουμε τη θερμοκρασία του νερού στο πρώτο μπουκάλι στους 20 0C και στο δεύτερο στους 60 0C. Τοποθετούμε τώρα το θερμόμετρό μας στα δύο μπουκάλια και σημειώνουμε τις δύο ενδείξεις. Χωρίζουμε το μεταξύ τους διάστημα σε 8 ίσα μέρη σημειώνοντάς τα με το μαρκαδόρο, ολοκληρώνοντας τη βαθμονόμηση του θερμομέτρου μας [5].

Στη συνέχεια μπορούν να τεθούν στους μαθητές μία σειρά από προβλήματα. Ενδεικτικά, και ανάλογα που το χρόνο που υπάρχει, μπορείτε να καλέσετε τους μαθητές σας:

Α. Να μετρήσουν τη θερμοκρασία μίας ποσότητας νερού. Σε ένα από τα παραπάνω κομμένα μπουκάλια νερού όγκου 1,5 L, βάζουμε νερό βρύσης και προσθέτουμε μία τυχαία ποσότητα από το νερό του βραστήρα. Ζητάμε από τους μαθητές να θερμομετρήσουν το νερό με το θερμόμετρό τους καθώς και με το θερμόμετρο του εμπορίου και να συγκρίνουν τα αποτελέσματα.

Β. Να βρουν ποιο δοχείο περιέχει πιο ζεστό νερό. Παρέχουμε στους μαθητές δύο κομμένα μπουκάλια νερού όγκου 1,5 L γεμισμένα με ίσες ποσότητες νερού που οι θερμοκρασίες τους να διαφέρουν πολύ λίγο, περίπου 1-2 βαθμούς. Μπορούν να πουν ποιο είναι πιο ζεστό χρησιμοποιώντας τα χέρια τους; Μπορούν να βρουν ποιο είναι το πιο ζεστό, χρησιμοποιώντας το θερμόμετρό τους. Τελικά το θερμόμετρο που φτιάξανε είναι πιο ακριβές από τα αισθητήρια του σώματος μας ή όχι; Επεκτείνοντας αυτή τη δραστηριότητα, μπορούμε να ζητήσουμε από τους μαθητές να ελέγξουν ποια είναι η μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας που μπορεί να έχουν δύο ποσότητες νερού ώστε να μπορούν, βάζοντας το χέρι τους μέσα σε αυτές, να συμπεράνουν με ασφάλεια ποια ποσότητα είναι η πιο ζεστή. Το ίδιο μπορεί να γίνει με το θερμόμετρο που φτιάξανε.

**Σχόλια**

1. Πράγματι, εφαρμόζοντας την καταστατική εξίσωση για αέριο σε δύο διαφορετικές καταστάσεις, με διαφορετικές θερμοκρασίες αλλά ίδια πίεση, θα έχουμε P∙ΔV=n∙R∙ΔΤ. Διαιρώντας, κατά μέλη, την εξίσωση αυτή με την καταστατική εξίσωση, P∙V=n∙R∙T, προκύπτει:



Σε συνδυασμό με την σχέση (1) έχουμε ότι γ=1/Τ. Έτσι, για Τ=300 Κ είναι γ =3333·10-6 grad-1.

2. Ας υποθέσουμε ότι το θερμόμετρο που θα φτιάξουμε έχει μία στήλη από γυάλινο σωλήνα με εμβαδό διατομής 20 mm2 και ύψος αρκετό ώστε να μπορεί η στάθμη του πετρελαίου στο σωλήνα να μεταβάλλεται κατά 20 cm όταν η θερμοκρασία μεταβάλλεται από -10 C έως 110 C. Τότε η μεταβολή του όγκου θα είναι 20x0,2=4 cm3. Άρα χρησιμοποιώντας πετρέλαιο, από τη σχέση (1) θα έχουμε



Από την παραπάνω ανάλυση φαίνεται ότι ο όγκος ενός τέτοιου θερμομέτρου δεν είναι πολύ μικρότερος από τον όγκο μιας ποσότητας νερού που θέλουμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία της. Με αποτέλεσμα να έχουμε ένα υπολογίσιμο σφάλμα μέτρησης. Έτσι αν τοποθετήσουμε το θερμόμετρό μας σε δοχείο με 500 mL νερού θερμοκρασίας 60 C ενώ το πετρέλαιο έχει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος περίπου 20 C, δεδομένου ότι η ειδική θερμότητα του πετρελαίου είναι 0,51cal/g∙grad θα μετρήσουμε θερμοκρασία 58,6 C αφού θα ισχύει η σχέση

.

Ας σημειωθεί ότι στην ανάλυση αυτή δεν λήφθηκε υπόψη η θερμοχωρητικότητα και του γυαλιού η οποία προσθέτει επιπλέον σφάλματα.

3. Γιατί βάζουμε αρχικά 25 mL στο μπουκαλάκι; Θέλουμε να φτιάξουμε ένα θερμόμετρο που να μετράει θερμοκρασίες από 10 έως 90 βαθμούς Κελσίου σε μία κλίμακα μήκους 16 cm, λόγω των περιορισμών που θέτει το μήκος του σωλήνα που διαθέτουμε. Μετρήσαμε τον όγκο που έχει μία στήλη ύψους 16 cm στο γυάλινο σωλήνα και τον βρήκαμε 6 mL . Άρα θα πρέπει ο όγκος του αερίου που περιέχεται στο μπουκαλάκι των 50 mL να αυξάνεται κατά 6mL όταν η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά 90-10=80 βαθμούς Κελσίου. Από τη σχέση:



με T=293 K προκύπτει V=25 mL, επομένως θα πρέπει να προσθέσουμε 50-25=25 mL νερό ώστε να μείνουν 25 mL αέρα.

4. Εναλλακτικά, θα μπορούσαμε να κλείσουμε το στόμιο του μπουκαλιού με το καπάκι του το οποίο θα έχουμε τρυπήσει κατάλληλα ώστε να περάσει ο γυάλινος σωλήνας μέσα από αυτό. Σε αυτή την περίπτωση στεγανοποιούμε τα κενά ανάμεσα στο σωλήνα και την τρύπα στο καπάκι.

5. Το συγκεκριμένο θερμόμετρο στηρίζεται στην μεταβολή του όγκου υπό σταθερή πίεση. Στην πραγματικότητα η πίεση μέσα στο μπουκάλι δεν παραμένει σταθερή, καθώς όταν το υγρό ανεβαίνει μέσα στο σωλήνα στην πίεση του αερίου προστίθεται και η υδροστατική πίεση του υγρού. Όταν το νερό ανέβει 20 cm η πίεση αυξάνεται κατά περίπου 2%. Η μεταβολή αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα στη μέση της απόστασης μεταξύ 20 και 60 βαθμών της στήλης του θερμομέτρου μας μήκους 20cm, η θερμοκρασία να είναι 39,8 αντί για 40 που θα αναγράφεται. Άρα ένα τέτοιο σφάλμα είναι ασήμαντο και μπορεί να μην ληφθεί υπόψη.

6. Στο θερμόμετρό μας εισέρχεται και ένα σφάλμα λόγω της θερμοχωρητικότητας του θερμομέτρου μας που είναι αρκετά σημαντική σε σχέση με την ποσότητα του νερού που θέλουμε να θερμομετρήσουμε. Για να περιορίσουμε αυτό στο σφάλμα χρησιμοποιούμε μεγάλη ποσότητα νερού προς θερμομέτρηση, περίπου ενός λίτρου.

**Βιβλιογραφία**

Καλκάνης Γ., Γκικοπούλου Ο., Καπότης Ε., Γουσόπουλος Δ., Πατρινόπουλος Μ., Τσάκωνας Π., Δημητριάδης Π., Παπατσίμπα Λ., Μιτζήθρας Κ., Καπόγιαννης Α., Σωτηρόπουλος Δ., Πολίτης Σ., και τα μέλη των συγγραφικών ομάδων των βιβλίων "Φυσικά - Ερευνώ και Ανακαλύπτω" της Ε’ και Στ’ τάξης του δημοτικού σχολείου. (2013). Η Φυσική με Πειράματα, Α Γυμνασίου, ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ

Μπεθάνης, Κ. (2014). Ειδικά κεφάλαια Φυσικής για φοιτητές γεωπονικών επιστημών. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://www.aua.gr/~bethanis/ch8.pdf>

Ο Παναγιώτης Μουρούζης έχει σπουδάσει Φυσική στο Παν. Αθηνών. Απέκτησε το μεταπτυχιακό του τίτλο στη Ραδιοηλεκτρολογία από το τμήμα Φυσικής του Παν. Αθηνών. Είναι από τους πρώτους που συνετέλεσαν στην καθιέρωση του θεσμού των Ε.Κ.Φ.Ε στη χώρα μας. Συγγραφέας εργαστηριακών οδηγών, πλήθους επιστημονικών άρθρων και προδιαγραφών εργαστηρίων του Υπουργείου Παιδείας. Εισηγητής του θεσμού των Υπεύθυνων εργαστηρίων (ΥΣΕΦΕ). Πρόεδρος της ΠΑΝΕΚΦΕ και Υπεύθυνος του Ε.Κ.Φ.Ε Κέρκυρας διατηρεί τον ιστότοπο του Κέντρου <http://dide.ker.sch.gr/ekfe>

