



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

---

## Εργαστήριο Φυσικής Ι - Μηχανική & Θερμοδυναμική

Α. Ζέζας

Τμήμα Φυσικής

---

## ΠΕΙΡΑΜΑ VIII

### Θερμιδομετρία και Θερμοστοιχεία

#### Σκοπός πειράματος

Στο πείραμα αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τις βασικές αρχές της θερμιδομετρίας προκειμένου να μετρήσουμε τα εξής:

- Ειδική θερμότητα θερμιδομέτρου.
- Ειδική θερμότητα και το ατομικό βάρος του χαλκού.
- Λανθάνουσα Θερμότητα τήξης του πάγου.

Επιπλέον θα μελετήσουμε και θα βαθμονομήσουμε ένα θερμοστοιχείο, το οποίο και θα χρησιμοποιήσουμε για μετρήσεις θερμοκρασίας.

#### Θεωρητικό υπόβαθρο

- Θερμότητα, Θερμιδομετρία
- Βασική εξίσωση Θερμιδομετρίας
- Ενέργεια, Μετατροπή μεταξύ διαφορετικών μορφών ενέργειας.
- Διάδοση Θερμότητας
- Θερμοστοιχεία

Για την κατανόηση και σωστή τέλεση του πειράματος θα πρέπει υποχρεωτικά να γνωρίζετε πριν κάνετε το πείραμα τη θεωρία που παρουσιάζεται στις ακόλουθες ενότητες του βιβλίου Φυσικής των Serway & Jewett: **Θ1, Θ2.1, Θ2.2, Θ2.3, Θ3**

#### Συνοπτική Θεωρία

Η θερμοδυναμική άπτεται μεταξύ άλλων και της μελέτης φαινομένων που σχετίζονται με τη μεταφορά ενέργειας από ένα σώμα σε ένα άλλο ή από ένα σώμα προς το περιβάλλον. Η ενέργεια αυτή αποκαλείται για ιστορικούς λόγους «θερμότητα» και η συνήθης μονάδα μέτρησής της είναι η θερμίδα ( $\text{calorie}=\text{cal}$ ). Μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο σωμάτων γίνεται πάντοτε από το θερμό (δηλαδή το σώμα με την πιο υψηλή θερμοκρασία) προς το ψυχρό σώμα, και μόνο εφόσον τα σώματα βρίσκονται σε θερμική επαφή. Μετά από την παρέλευση ενός χρονικού διαστήματος το οποίο εξαρτάται από το πόσο εύκολη είναι η ροή θερμότητας ανάμεσά τους, τα δύο σώματα έρχονται σε θερμική ισορροπία και αποκτούν την ίδια θερμοκρασία. Αν ένα σώμα είναι μονωμένο δε μπορεί να χάσει η να προσλάβει θερμότητα/ενέργεια από το περιβάλλον.

Το ποσό της ενέργειας το οποίο απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ενός σώματος είναι ανάλογο της μάζας του και εξαρτάται από το υλικό από το οποίο αποτελείται. Ορίζουμε ως **ειδική θερμότητα** ( $c$ ), ενός υλικού το ποσό θερμότητας το οποίο απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζας του υλικού κατά

ένα βαθμό. Οι μονάδες μέτρησης του  $c$  είναι το  $cal/(gr\ ^\circ K)$  ή  $kcal/(kgr\ ^\circ K)$ . Το γινόμενο της μάζας ενός σώματος επί την ειδική του θερμότητα ονομάζεται **θερμοχωρητικότητα (mc)** του σώματος και οι μονάδες μέτρησής της είναι  $cal/^\circ K$ .

Αντίστοιχα μπορούμε να ορίσουμε ως **ατομική θερμότητα (C)** ανά γραμμομόριο ενός υλικού υπό σταθερό όγκο,  $C = \left. \frac{dE}{dT} \right|_V$ , το ποσό θερμότητας το οποίο απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμομορίου του υλικού κατά ένα βαθμό. Οι μονάδες μέτρησης του  $C$  είναι το  $cal/(mole\ ^\circ K)$  ή  $kcal/(kmole\ ^\circ K)$ .

Υπενθυμίζεται ότι 1 mole είναι η ποσότητα υλικού η οποία περιέχει αριθμό στοιχείων (ατόμων ή μορίων) του υλικού ίσο με τον αριθμό Avogadro ( $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ ).

Σε μικροσκοπική κλίμακα η αύξηση της θερμοκρασίας ενός σώματος λόγω μεταφοράς θερμότητας σε αυτό, οφείλεται σε αύξηση της κινητικής ενέργειας των ατόμων ή μορίων του υλικού από το οποίο αποτελείται το σώμα. Μπορεί να αποδειχθεί ότι σε ένα ιδανικό μονατομικό αέριο κάθε άτομο έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας και η μέση κινητική ενέργεια κάθε ατόμου είναι ίση με  $(3/2)kT$ , όπου  $k$  η σταθερά Boltzmann, η οποία σχετίζεται με τον αριθμό Avogadro ( $N_A$ ) και την παγκόσμια σταθερά των αερίων,  $R = 1.986\ cal/(mole\ ^\circ K)$ , με τη σχέση :

$$k = \frac{R}{N_A} = 3.30 \times 10^{-24}\ cal/^\circ K$$

Για ένα ιδανικό μονατομικό αέριο μπορεί να αποδειχθεί ότι η ατομική του θερμότητα είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται, και δίνεται από τη σχέση:

$$C = \frac{3}{2}R = 2.98\ cal/(mole\ ^\circ K)$$

Αν το αέριο δεν είναι μονατομικό, τα μόριά του θα έχουν περισσότερους από τρεις βαθμούς ελευθερίας και η ατομική του θερμότητα θα είναι μεγαλύτερη<sup>2</sup>.

Στην περίπτωση των στερεών η κατάσταση είναι διαφορετική. Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι η ατομική τους θερμότητα (και κατά συνέπεια η θερμοχωρητικότητά τους) εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία πλησιάζει το απόλυτο μηδέν τότε και η ατομική τους θερμότητα τείνει στο μηδέν με διαφορετικό ρυθμό για κάθε στερεό. Για σχετικά υψηλές θερμοκρασίες όμως ( $T \sim 400-500\ ^\circ K$ ) η **ατομική θερμότητα σχεδόν όλων των στερεών είναι σταθερή** και ίση με την τιμή:

$$C = 3R = 5.96\ cal/(mole\ ^\circ K)$$

Το πειραματικό αποτέλεσμα αυτό είναι γνωστό και ως νόμος των Dulong-Petit<sup>3</sup>.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αν έχουμε ένα ομογενές σώμα μάζας  $m$ , το οποίο αποτελείται από  $n\ mole$  υλικού με ατομικό βάρος  $AB^4$ , για να μεταβληθεί η

<sup>2</sup> Για περισσότερες πληροφορίες δείτε την παράγραφο 21.3 και Πίνακα 21.2 στο βιβλίο του Serway (Τόμος III).

<sup>3</sup> Εξάιρεση στο νόμο αυτό αποτελούν στερεά με ελαφριά άτομα (αυτά που έχουν πυρήνες με μικρό μαζικό αριθμό) τα οποία έχουν ισχυρούς κρυσταλλικούς δεσμούς όπως το μεταλλικό βηρύλλιο ( $Z=8$ ) και ο άνθρακας ( $Z=12$ ) στη μορφή του διαμαντιού. Για περισσότερες πληροφορίες δείτε την παράγραφο 21.6 στο βιβλίο του Serway (Τόμος III).

θερμοκρασία του κατά  $\Delta T$  βαθμούς θα πρέπει να του δοθεί ή αφαιρεθεί ποσό θερμότητας  $\Delta Q$  ίσο με:

$$\Delta Q = nC\Delta T = mc\Delta T$$

όπου  $c$  είναι η ειδική θερμότητα του υλικού.

Η παραπάνω εξίσωση είναι η **Βασική Εξίσωση της Θερμιδομετρίας** η οποία συσχετίζει μεταβολές θερμοκρασίας με το ποσό θερμότητας που προσφέρεται ή αφαιρείται από κάποιο σώμα.

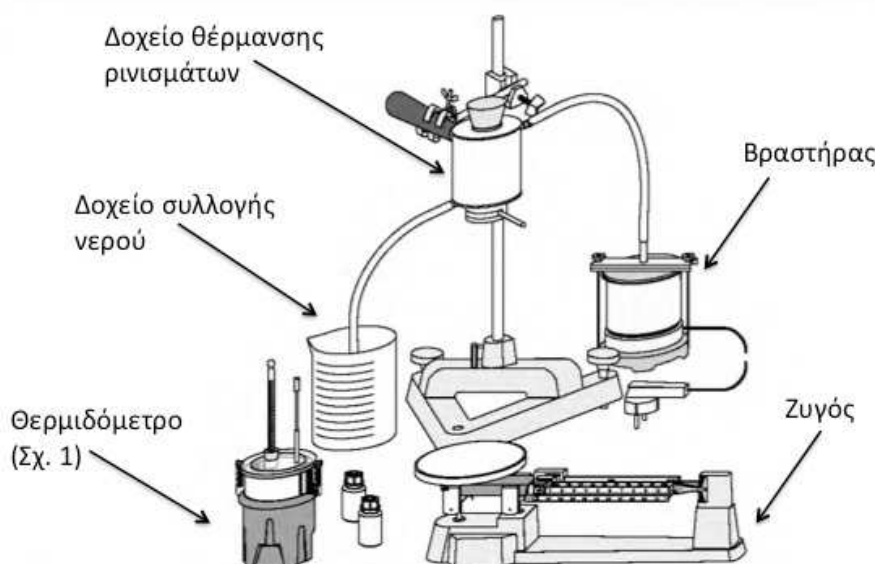
## Πειραματική Διαδικασία

### Α' Μέρος: Μέτρηση της ειδικής θερμότητας του χαλκού (Cu)

Σε αυτό το μέρος του πειράματος θα μετρήσουμε τη ειδική θερμότητα ( $c$ ) ρινισμάτων χαλκού με τη μέθοδο των μιγμάτων. Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στο γεγονός ότι αν φέρουμε σε επαφή δύο σώματα διαφορετικής θερμοκρασίας μέσα σε ένα σύστημα το οποίο είναι θερμικά μονωμένο από το περιβάλλον θα υπάρξει μεταφορά θερμότητας (ενέργειας) από το θερμό στο ψυχρό σώμα. Η μεταφορά θα συνεχιστεί έως ότου τα σώματα έρθουν σε θερμική ισορροπία και εξισωθούν οι θερμοκρασίες τους. Αν  $c_1$  και  $c_2$  είναι η ειδική θερμότητα των δύο σωμάτων μάζας  $m_1$  και  $m_2$ ,  $\theta_1$  και  $\theta_2$  οι αρχικές τους θερμοκρασίες, και  $\theta_t$  η κοινή τελική θερμοκρασία και υποθέσουμε ότι το σώμα 1 είναι το θερμότερο ( $\theta_1 > \theta_2$ ) τότε από την αρχή διατήρησης της ενέργειας συνεπάγεται ότι:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 \Rightarrow m_1 c_1 (\theta_1 - \theta_t) = m_2 c_2 (\theta_t - \theta_2) \quad (1)$$

όπου  $\Delta Q_1$  η θερμότητα που έχασε το σώμα 1 και  $\Delta Q_2$  η θερμότητα που απορρόφησε το σώμα 2 και φυσικά  $\theta_1 > \theta_t > \theta_2$ .

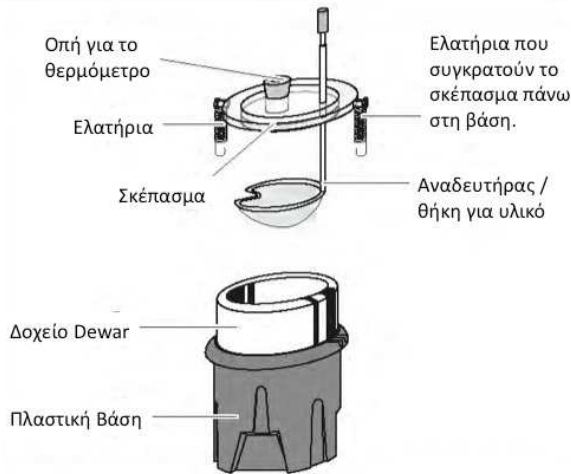


Σχήμα 1.

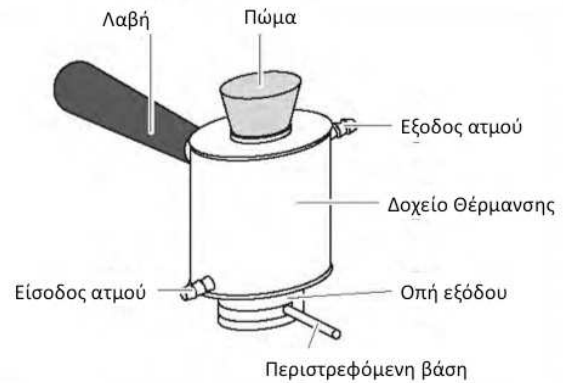
Σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διάταξης.

Παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία της διάταξης που θα χρησιμοποιηθεί στο πείραμα.

<sup>4</sup> Υπενθυμίζεται ότι το ατομικό βάρος ενός υλικού σε γραμμάρια είναι ίσο με την μάζα του υλικού δια τον αριθμό των mole που περιέχει.



Σχήμα 2. Το θερμιδόμετρο.



Σχήμα 3. Δοχείο θέρμανσης.

Εάν είναι γνωστή η ειδική θερμότητα του ενός σώματος και μετρηθούν τόσο οι μάζες των δύο σωμάτων όσο και οι αρχικές και τελική θερμοκρασία, τότε από την (1) μπορούμε να υπολογίσουμε την ειδική θερμότητα του άλλου σώματος.

Στο πείραμα θα χρησιμοποιήσουμε το νερό ως το ψυχρό σώμα (2) μάζας  $m_2$  με τη γνωστή ειδική θερμότητα  $c_2$ , μια που αυτή εξ'ορισμού είναι  $1 \text{ cal}/(\text{gr} \text{ } ^\circ\text{K})$ . Το θερμό σώμα (1) του οποίου την ειδική θερμότητα επιθυμούμε να υπολογίσουμε είναι ο χαλκός (Cu). Φέρνουμε το νερό και το χαλκό σε θερμική επαφή μέσα σε ένα **θερμιδόμετρο**.

Το θερμιδόμετρο είναι μια συσκευή παρόμοια με το γνωστό θερμός, η οποία έχει πολύ καλή μόνωση και περιορίζει σημαντικά τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον (δείτε Σχήμα 2).

Αν το θερμιδόμετρο αρχικά βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με το νερό που περιέχει ( $\theta_\theta = \theta_2$ ) και μια που τα μέρη του τα οποία βρίσκονται σε επαφή με το νερό θα απορροφήσουν ένα μέρος της θερμότητας που θα χάσει ο χαλκός, η εξίσωση (1) πρέπει να μετατραπεί σε:

$$m_1 c_1 (\theta_1 - \theta_\tau) = (m_2 c_2 + m_\theta c_\theta) (\theta_\tau - \theta_2) \quad (2)$$

όπου ο όρος  $m_\theta c_\theta$  είναι η θερμοχωρητικότητα του θερμιδομέτρου.

## Α1. Υπολογισμός της θερμοχωρητικότητας του θερμιδομέτρου

Παρατηρούμε όμως ότι η ποσότητα  $m_{\theta}c_{\theta}$  η οποία απαιτείται για τον υπολογισμό της  $c_1$  από τη σχέση (2) είναι άγνωστη<sup>5</sup>. Για να την μετρήσουμε αρκεί να εφαρμόσουμε τη σχέση (2) σε δύο γνωστές μάζες νερού,  $m_1$  και  $m_2$ , με την ακόλουθη διαδικασία:

1. Μετράμε τη μάζα του κενού θερμιδομέτρου  $m_{\theta}$  χρησιμοποιώντας την ψηφιακή ζυγαριά.
2. Προσθέτουμε μια ποσότητα ψυχρού νερού, θερμοκρασίας περιβάλλοντος, και και μετρούμε τη μάζα του θερμιδομέτρου εκ νέου. Η διαφορά με την προηγούμενη μέτρηση θα μας δώσει τη μάζα του ψυχρού νερού  $m_2$ .
3. Κλείνουμε το θερμιδομέτρο και περιμένουμε να έρθει σε θερμική ισορροπία. Μετράμε τη θερμοκρασία του συστήματος ( $\theta_2$ ) όταν αυτή σταθεροποιηθεί.
4. Χρησιμοποιώντας ένα βραστήρα θερμαίνουμε νέα ποσότητα νερού.
5. Μετράμε τη θερμοκρασία του ( $\theta_1$ ), και προσθέτουμε μια ποσότητα από το θερμό νερό στο θερμιδομέτρο. Χρησιμοποιήστε τον αναδευτήρα για να αναμειχθούν οι δύο ποσότητες νερού. Όταν το σύστημα έρθει σε θερμική ισορροπία μετράμε την τελική θερμοκρασία του ( $\theta_{\tau}$ ).

**Προσέξτε να κάνετε τη μεταφορά γρήγορα ώστε να μην χαθεί θερμότητα στο περιβάλλον και βεβαιωθείτε ότι η τελική θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται.**

6. Μετρούμε τη μάζα του θερμιδομέτρου μαζί με το νερό. Η διαφορά με την προηγούμενη μέτρηση θα μας δώσει τη μάζα του θερμού νερού  $m_1$ .
7. Σημειώστε τις μετρήσεις σας στον ακόλουθο πίνακα:

**Πίνακας 1**

Μάζα Θερμιδομέτρου $m_{\theta} \pm \delta m_{\theta}$ (gr)	
Μάζα Θερμιδομέτρου με ψυχρό νερό (gr)	
Μάζα Θερμιδομέτρου με ψυχρό και θερμό νερό (gr)	
Μάζα θερμού νερού: $m_1 \pm \delta m_1$ (gr)	
Μάζα ψυχρού νερού: $m_2 \pm \delta m_2$ (gr)	
Θερμοκρασία ψυχρού νερού: $\theta_1 \pm \delta \theta_1$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	
Θερμοκρασία θερμού νερού: $\theta_2 \pm \delta \theta_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	
Τελική θερμοκρασία συστήματος: $\theta_{\tau} \pm \delta \theta_{\tau}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	

8. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις σας και αφού γνωρίζετε ότι  $c_1=c_2=c_v=1 \text{ cal}/(\text{gr } ^{\circ}\text{K})$  λύστε τη σχέση (2) ως προς  $m_{\theta}c_{\theta}$  και υπολογίστε τη θερμοχωρητικότητα του θερμιδομέτρου.
9. Χρησιμοποιώντας τη θεωρία διάδοσης σφαλμάτων υπολογίστε το πιθανό σφάλμα  $\delta(m_{\theta}c_{\theta})$  στη μέτρηση της θερμοχωρητικότητας του θερμιδομέτρου.

<sup>5</sup> Σε περίπτωση που έχετε ήδη κάνει το πείραμα «Ηλεκτρικό Ισοδύναμο της Θερμότητας» και έχετε μετρήσει τη θερμοχωρητικότητα του θερμιδομέτρου χρησιμοποιήστε την τιμή που βρήκατε εκεί.

## A2. Υπολογισμός της ειδικής θερμότητας και ατομικού βάρους του χαλκού

Τώρα είμαστε έτοιμοι να υπολογίσουμε την ατομική θερμότητα του χαλκού χρησιμοποιώντας την πειραματική διάταξη του Σχήματος 1. Αυτή αποτελείται από ένα βραστήρα μέσα στον οποίο τοποθετείται νερό και το οποίο φέρνουμε σε θερμοκρασία βρασμού. Ο ατμός που δημιουργείται λόγω του βρασμού οδηγείται με ελαστικό σωλήνα στο κυλινδρικό δοχείο θέρμανσης, (Σχήμα 3) μέσα από το οποίο και διέρχεται. Το δοχείο θέρμανσης έχει ένα εσωτερικό χώρο στον οποίο μπορεί να τοποθετηθεί η ποσότητα του χαλκού ή όποιου άλλου υλικού επιθυμούμε να θερμάνουμε. Ένα θερμόμετρο είναι προσαρμοσμένο στο δοχείο θέρμανσης και έτσι μπορούμε να μετρούμε τη θερμοκρασία του χαλκού. Στο κάτω μέρος του δοχείου υπάρχει ένα διάφραγμα το οποίο επιτρέπει να αδειάσουμε γρήγορα το χαλκό όταν το επιθυμούμε.

Τα βήματα τα οποία ακολουθούμε είναι:

1. Τοποθετούμε στο θερμιδόμετρο, γνωστής πλέον θερμοχωρητικότητας  $m_{\theta}c_{\theta}$ , νερό θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
2. Μετράμε τη μάζα του θερμιδομέτρου με το νερό ώστε να υπολογίσουμε τη μάζα του νερού  $m_2$ .
3. Αφού το νερό έρθει σε θερμική ισορροπία με το θερμιδόμετρο μετράμε τη θερμοκρασία του συστήματος ( $\theta_2$ ).
4. Παράλληλα τοποθετούμε τα ρινίσματα χαλκού στο δοχείο θέρμανσης. **Βεβαιωνόμαστε ότι ο βραστήρας περιέχει νερό.** Συνδέουμε το δοχείο θέρμανσης με το βραστήρα και φέρνουμε το νερό του βραστήρα σε βρασμό.
5. Βεβαιωνόμαστε ότι ο ατμός περνά μέσα από το δοχείο θέρμανσης. Περιμένουμε ~15 λεπτά ώστε ο χαλκός να έρθει σε θερμική ισορροπία με το δοχείο θέρμανσης και μετράμε τη θερμοκρασία του ( $\theta_1$ ).
6. Αφού τοποθετήσουμε το θερμιδόμετρο με το νερό κάτω από το δοχείο θέρμανσης, ανοίγουμε το διάφραγμα και αφήνουμε να πέσουν τα ρινίσματα χαλκού μέσα στο συρμάτινο δίχτυ του αναδευτήρα του θερμιδομέτρου.
7. Η μεταφορά πρέπει να γίνει πολύ γρήγορα ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον. Δεν πειράζει εάν δεν πέσουν όλα τα ρινίσματα του χαλκού μέσα στο δίχτυ του θερμιδομέτρου και κάποια παραμείνουν στο δοχείο θέρμανσης.
8. Κλείνουμε το κάλυμμα του θερμιδομέτρου και κάνοντας χρήση του αναδευτήρα ανακινούμε το νερό
9. Όταν το νερό έρθει σε θερμική ισορροπία με τα ρινίσματα χαλκού (δηλαδή η θερμοκρασία του νερού σταθεροποιηθεί) καταγράφουμε την ένδειξη του θερμιδομέτρου ( $\theta_T$ ).
10. Μετράμε τη μάζα του συστήματος. Η διαφορά με τη μάζα που μετρήσαμε προηγουμένως θα μας δώσει τη μάζα  $m_1$  των ρινισμάτων χαλκού.

11. Σημειώστε τις μετρήσεις σας στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2

Μάζα Θερμιδομέτρου $m_{\theta} \pm \delta m_{\theta}$ (gr)	
Μάζα Θερμιδομέτρου με ψυχρό νερό (gr)	
Μάζα Θερμιδομέτρου με νερό και ρινίσματα χαλκού (gr)	
Μάζα ρινισμάτων Cu $m_1 \pm \delta m_1$ (gr)	
Μάζα νερού $m_2 \pm \delta m_2$ (gr)	
Θερμοκρασία χαλκού $\theta_1 \pm \delta \theta_1$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	
Θερμοκρασία νερού $\theta_2 \pm \delta \theta_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	
Τελική θερμοκρασία $\theta_{\tau} \pm \delta \theta_{\tau}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	

12. Επιλύοντας τη σχέση (2) ως προς  $c_1$  και χρησιμοποιώντας τις παραπάνω μετρήσεις, καθώς και ότι  $c_v=1 \text{ cal}/(\text{gr } ^{\circ}\text{K})$ , μπορούμε να υπολογίσουμε τη ειδική θερμότητα του χαλκού.
13. Χρησιμοποιώντας τη θεωρία διάδοσης σφαλμάτων υπολογίστε το πιθανό σφάλμα  $\delta(c_1)$  στη μέτρηση της ειδικής θερμότητας.
14. Συμφωνεί η μέτρησή σας με γνωστή θεωρητική τιμή  $c=0.092 \text{ cal}/(\text{gr } ^{\circ}\text{K})$ ;
15. Χρησιμοποιώντας το νόμο των Dulong-Petit υπολογίστε το ατομικό βάρος (AB) του χαλκού και συγκρίνετέ το με τη γνωστή τιμή  $AB(\text{Cu})=63.55$ .

### Β' Μέρος: Μέτρηση της λανθάνουσας θερμότητας τήξης ( $\lambda$ ) του πάγου

Κατά τη διάρκεια της τήξης ενός σώματος, όταν δηλαδή μετατρέπεται από την στερεά στην υγρή φάση, η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή παρά το ότι το σώμα απορροφά θερμότητα. Αυτό συμβαίνει διότι η ενέργεια που απορροφάται καταναλώνεται στο να σπάσουν οι δεσμοί ανάμεσα στα άτομα/μόρια του υλικού οι οποίοι τα διατηρούν σε καθορισμένες θέσεις μέσα στο υλικό γύρω από τις οποίες εκτελούν μικρές ταλαντώσεις. Μετά την αλλαγή φάσης τα άτομα/μόρια του υλικού μπορούν να κινηθούν στο χώρο με τις γνωστές ιδιότητες ενός ρευστού.

Η θερμότητα (ενέργεια) που απαιτείται για να τακεί η μονάδα μάζας ενός υλικού το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία τήξης ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα τήξης ( $\lambda$ )<sup>6</sup>. Οι μονάδες μέτρησής της λανθάνουσας θερμότητας τήξης είναι  $\text{cal}/\text{gr}$  ή  $\text{kcal}/\text{kgr}$ .

Σε αυτό το μέρος του πειράματος θα υπολογίσουμε τη λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου. Προσθέτουμε σε ένα θερμιδομέτρο το οποίο ήδη περιέχει νερό μάζας  $m_v$  σε αρχική θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $\theta_a$ ), μία ποσότητα πάγου μάζας  $m_{\pi}$  η οποία βρίσκεται σε θερμοκρασία τήξης ( $\theta_{\pi}= 0^{\circ}\text{C} = 273^{\circ}\text{K}$ ). Ενέργεια θα μεταφερθεί από το

<sup>6</sup> Για περισσότερες πληροφορίες δείτε την παράγραφο 20.3 στο βιβλίο του Serway (Τόμος III).



νερό και το θερμιδόμετρο στον πάγο ο οποίος θα αλλάξει φάση (θα λιώσει) και θα μετατραπεί σε νερό θερμοκρασίας  $0^{\circ}\text{C}$ . Στη συνέχεια το σύστημα του αρχικού νερού, του πάγου που μετατράπηκε σε νερό, και του θερμιδομέτρου θα φτάσει σε θερμική ισορροπία έχοντας θερμοκρασία  $\theta_{\tau}$ . Λόγω της διατήρησης ενέργειας από τη σχέση (2) θα έχουμε:

$$m_{\theta}c_{\theta}(\theta_{\alpha} - \theta_{\tau}) + m_{\nu}c_{\nu}(\theta_{\alpha} - \theta_{\tau}) = m_{\pi}\lambda + m_{\pi}c_{\nu}(\theta_{\tau} - \theta_{\pi}) \quad (3)$$

Τα βήματα τα οποία ακολουθούμε για να κάνουμε τη μέτρηση είναι:

1. Τοποθετούμε μέσα στο θερμιδόμετρο γνωστής θερμοχωρητικότητας  $m_{\theta}c_{\theta}$ , νερό μάζας  $m_{\nu}$  και θερμοκρασίας περιβάλλοντος και αφού έρθει σε θερμική ισορροπία με το θερμιδόμετρο μετράμε τη θερμοκρασία ( $\theta_{\alpha}$ ). Η μέτρηση της μάζας του νερού γίνεται κατά τα γνωστά μετρώντας πρώτα τη μάζα του άδειου θερμιδομέτρου.
2. Θρυμματίζουμε πάγο σε πολύ μικρά κομμάτια.
3. Τοποθετούμε τον πάγο στο θερμιδόμετρο, κλείνουμε το κάλυμμα του θερμιδομέτρου και κάνοντας χρήση του αναδευτήρα ανακινούμε το νερό ώστε να λιώσει ο πάγος.
4. Όταν η θερμοκρασία του θερμιδομέτρου σταθεροποιηθεί καταγράφουμε τη θερμοκρασία ισορροπίας του συστήματος ( $\theta_{\tau}$ ).
5. Μετράμε τη μάζα του συστήματος ώστε να υπολογίσουμε τη μάζα του πάγου που προσθέσαμε ( $m_{\pi}$ ).
6. Σημειώστε τις μετρήσεις σας στον ακόλουθο πίνακα:

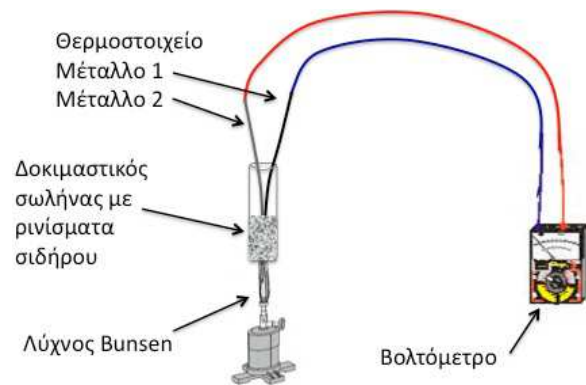
**Πίνακας 3**

<b>Μάζα Θερμιδομέτρου <math>m_{\theta} \pm \delta m_{\theta}</math> (gr)</b>	
<b>Μάζα Θερμιδομέτρου με νερό (gr)</b>	
<b>Μάζα Θερμιδομέτρου με νερό και πάγο (gr)</b>	
<b>Μάζα νερού <math>m_{\nu} \pm \delta m_{\nu}</math> (gr)</b>	
<b>Μάζα πάγου <math>m_{\pi} \pm \delta m_{\pi}</math> (gr)</b>	
<b>Αρχική θερμοκρασία νερού <math>\theta_{\alpha} \pm \delta \theta_{\alpha}</math> (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	
<b>Τελική θερμοκρασία νερού <math>\theta_{\tau} \pm \delta \theta_{\tau}</math> (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	

7. Επιλύοντας τη σχέση (3) ως προς  $\lambda$  και χρησιμοποιώντας τις παραπάνω μετρήσεις καθώς και ότι  $c_{\nu}=1 \text{ cal}/(\text{gr } ^{\circ}\text{K})$ , υπολογίστε τη λανθάνουσα θερμότητας τήξης του πάγου.
8. Χρησιμοποιώντας τη θεωρία διάδοσης σφαλμάτων υπολογίστε το πιθανό σφάλμα  $\Delta(\lambda)$  στη μέτρηση της λανθάνουσας θερμότητας τήξης.
9. Συμφωνεί η μέτρησή σας με τη γνωστή θεωρητική τιμή  $\lambda=79.71 \text{ cal/gr}$ ;

### Γ' Μέρος: Βαθμονόμηση ενός θερμοστοιχείου

Το **θερμοστοιχείο** είναι μία συσκευή η οποία αποτελείται από δύο σύρματα διαφορετικών μετάλλων (πχ χαλκού και σιδήρου) η μία άκρη των οποίων είναι ενωμένη, και η άλλη άκρη τους βρίσκεται στην ίδια και σταθερή θερμοκρασία. Αν αυξηθεί η θερμοκρασία στο ενωμένο άκρο των δύο συρμάτων τότε θα εμφανιστεί διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού ανάμεσα στα δύο ελεύθερα άκρα των συρμάτων η οποία μπορεί να μετρηθεί με ένα βολτόμετρο. Η τάση λέγεται **θερμοηλεκτρική τάση** εξαρτάται από τη φύση των δύο μετάλλων και είναι γραμμική συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στο ελεύθερο και ενωμένο άκρο του θερμοστοιχείου για ένα μεγάλο εύρος διαφοράς θερμοκρασιών (έως και ~2000 βαθμούς).



Σχήμα 2. Το θερμοστοιχείο.

Τα θερμοστοιχεία μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση πολύ χαμηλών ή υψηλών θερμοκρασιών στις οποίες τα συνηθισμένα γυάλινα θερμομόμετρα αλκοόλης ή υδραργύρου δε λειτουργούν.

Σε αυτό το μέρος του πειράματος θα βαθμονομήσουμε ένα θερμοστοιχείο και στην συνέχεια θα το χρησιμοποιήσουμε για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία βρασμού του νερού. Για τη βαθμονόμηση θα χρησιμοποιήσουμε θερμομόμετρο γνωστής ακρίβειας.

1. Τοποθετούμε ρινίσματα σιδήρου μέσα στο γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα.
2. Συνδέουμε τα ελεύθερα άκρα του θερμοστοιχείου στο βολτόμετρο και εισάγουμε το άλλο ενωμένο άκρο του μέσα στα ρινίσματα σιδήρου.
3. Εισάγετε επίσης την άκρη του θερμομέτρου μέσα στα ρινίσματα σιδήρου.  
**Προσέχουμε ώστε ούτε το άκρο του θερμοστοιχείου ούτε το θερμομόμετρο να αγγίζει τα τοιχώματα του δοκιμαστικού σωλήνα.**
4. Ανάβουμε το λύχνο Bunsen και τοποθετούμε το δοκιμαστικό σωλήνα πάνω από τη φλόγα. **Προσέξτε να μην βρίσκεται ο σωλήνας πολύ κοντά στη φλόγα γιατί υπάρχει κίνδυνος να σπάσει.**
5. Λόγω της θερμότητας που εκλύει η φλόγα η θερμοκρασία του θερμομέτρου θα ανεβαίνει και η διαφορά τάσης που μετρά το βολτόμετρο θα μεταβάλλεται. Καταγράφουμε σε ένα πίνακα της μορφής που ακολουθεί τη θερμοκρασία και την τάση σε τακτά διαστήματα, (πχ κάθε φορά που η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 5 βαθμούς). Επίσης καταγράψτε το χρονικό διάστημα που πέρασε ανάμεσα στην πρώτη και την τελευταία σας μέτρηση.

Πίνακας 4

Πίνακας ανόδου – Χρονική διάρκεια μετρήσεων: ?? min		
Μέτρηση	Θερμοκρασία: $\theta \pm \delta\theta$ (°C)	Τάση: $V \pm \delta V$ (Volt)
1	$\theta_1$	$V_1$
2	$\theta_2$	$V_2$
...	...	...

6. Προσέξτε να πάρετε αρκετές μετρήσεις, τουλάχιστον ~20 και να καλύψετε το εύρος θερμοκρασιών από ~40 °C έως ~150 °C.
7. Κλείνουμε τη φλόγα και απομακρύνουμε το γκαζάκι.
8. Η θερμοκρασία του θερμομέτρου θα αρχίσει να πέφτει. Καταγράψτε σε ένα πίνακα της μορφής που ακολουθεί τη θερμοκρασία και την τάση σε τακτά διαστήματα, (πχ κάθε φορά που η θερμοκρασία πέφτει κατά 5 βαθμούς). Επίσης καταγράψτε το χρονικό διάστημα που πέρασε ανάμεσα στην πρώτη και την τελευταία σας μέτρηση.

Πίνακας 5

Πίνακας καθόδου – Χρονική διάρκεια μετρήσεων: ?? min		
Μέτρηση	Θερμοκρασία: $\theta \pm \delta\theta$ (°C)	Τάση: $V \pm \delta V$ (Volt)
1	$\theta_1$	$V_1$
2	$\theta_2$	$V_2$
...	...	...

9. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του πίνακα της ανόδου κάνουμε μια γραφική παράσταση της θερμοκρασίας  $\theta$  ως συνάρτηση της τάσης  $V$ .
10. Προσαρμόζοντας μια ευθεία ελαχίστων τετραγώνων ( $\theta = \alpha_1 + \beta_1 V$ ) και υπολογίζοντας τη διατομή ( $\alpha_1$ ), την κλίση ( $\beta_1$ ), και τα σφάλματά τους, έχουμε την εξίσωση βαθμονόμησης για την άνοδο.
11. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του πίνακα καθόδου κάνουμε μια γραφική παράσταση της θερμοκρασίας  $\theta$  ως συνάρτηση της τάσης  $V$ .
12. Προσαρμόζοντας μια ευθεία ελαχίστων τετραγώνων ( $\theta = \alpha_2 + \beta_2 V$ ) και υπολογίζοντας τη διατομή ( $\alpha_2$ ), την κλίση ( $\beta_2$ ), και τα σφάλματά τους, έχουμε την εξίσωση βαθμονόμησης για την κάθοδο.

Μπορούμε τώρα να χρησιμοποιήσουμε τις δύο βαθμονομήσεις ανόδου και καθόδου που κάναμε για να μετρήσουμε με το θερμοδόμετρο το σημείο βρασμού του νερού.

1. Χρησιμοποιώντας το βραστήρα φέρνουμε νερό σε βρασμό.
2. Συνδέουμε τα ελεύθερα άκρα του θερμοστοιχείου στο ψηφιακό βολτόμετρο και τοποθετούμε το άλλο ενωμένο άκρο του στο νερό που βράζει.

3. Σημειώστε την πειραματική τιμή της τάσης που αναγράφεται στο βολτόμετρο ( $V_{\pi} \pm \delta V$ ). Αυτή είναι η πειραματική μέτρηση του σημείου βρασμού του νερού.
4. Χρησιμοποιώντας την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων για την άνοδο και την κάθοδο υπολογίζουμε τις θερμοκρασίες βρασμού  $\theta_{1\pi} \pm \delta\theta_{1\pi}$  και  $\theta_{2\pi} \pm \delta\theta_{2\pi}$  αντίστοιχα.
5. Συμφωνούν οι παραπάνω πειραματικές τιμές της θερμοκρασίας βρασμού με την γνωστή θεωρητική τιμή της θερμοκρασίας  $\theta_{\theta}=100^{\circ}\text{C}$ ;
6. Με βάση αυτό το αποτέλεσμα ποια από τις δύο καμπύλες βαθμονόμησης θα θέλατε να χρησιμοποιήσετε για τον υπολογισμό θερμοκρασιών με το θερμοστοιχείο;

### Ερωτήσεις

- 1) Γνωρίζετε ότι η ειδική θερμότητα του νερού είναι  $1 \text{ cal}/(\text{gr } ^{\circ}\text{K})$ . Ποια είναι η ειδική θερμότητα του πάγου; (Σημείωση: δεν είναι το ίδιο με το νερό σε υγρή φάση).
- 2) Εξηγήστε γιατί το γεγονός ότι θρυμματίζετε τον πάγο διασφαλίζει ότι η θερμοκρασία του πάγου είναι σχεδόν  $0^{\circ}\text{C}$
- 3) Συγκρίνετε την ενέργεια που απαιτείται για να λιώσει  $1\text{gr}$  πάγου θερμοκρασίας  $0^{\circ}\text{C}$  και να γίνει νερό θερμοκρασίας  $0^{\circ}\text{C}$ , με αυτήν που απαιτείται για να θερμάνουμε το  $1\text{gr}$  νερού  $0^{\circ}\text{C}$  στον  $1^{\circ}\text{C}$ .
- 4) Στο Γ μέρος του πειράματος χρησιμοποιήσατε τη βαθμονόμηση ανόδου και καθόδου για να υπολογίσετε την θερμοκρασία βρασμού, και κατά πάσα πιθανότητα βρήκατε ότι η βαθμονόμηση είναι καλύτερη με την καμπύλη καθόδου. Μπορείτε να εξηγήσετε για ποιο λόγο συμβαίνει αυτό;

### Βιβλιογραφία

Serway R. A. & Jewett J.W., Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς, 8<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Leybold Physics Leaflet P2.3.2.1, Leybold Didactic GmbH

Leybold Physics Leaflet P2.3.4.1, Leybold Didactic GmbH

Leybold Instruction Sheet 386 48, Leybold Didactic GmbH

# Σημειώματα

## Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Α. Ζέζας 2014. «Εργαστήριο Φυσικής Ι - Μηχανική & Θερμοδυναμική». Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.uoc.gr>.

## Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

## Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

