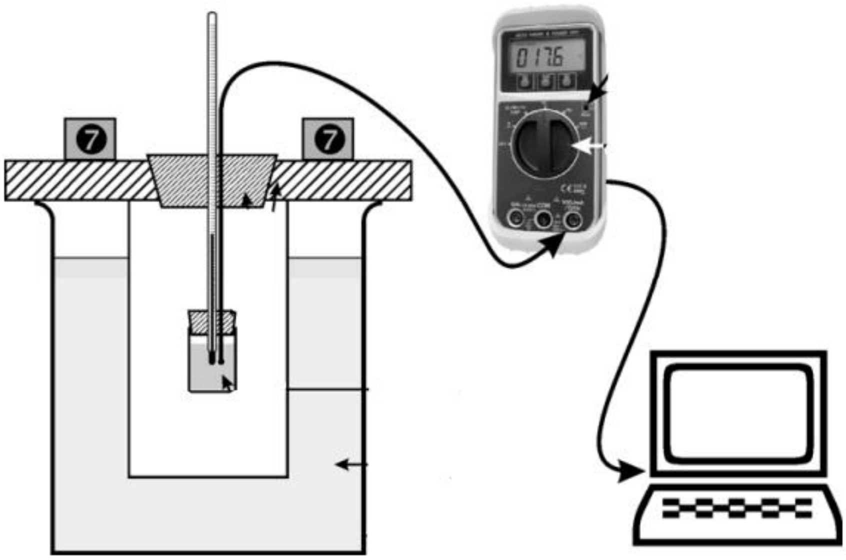
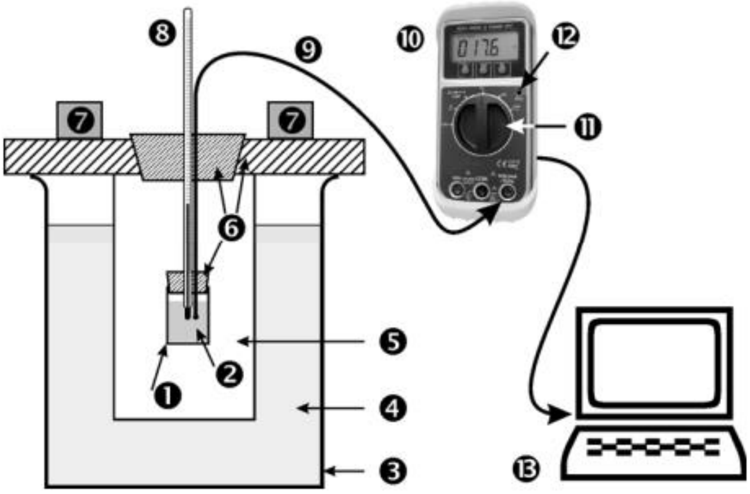
Εργαστηριακές Ασκήσεις Γενικής Φυσικής

Εργασία 8 - Θερμοδυναμική



Εισαγωγή

Η εργασία αυτή αφορά 3 πειράματα θερμοδυναμικής που διεξήχθησαν σε εργαστήριο της σχολής θετικών επιστημών του ΑΠΘ στο μάθημα εργαστηριακές ασκήσεις φυσικής. Συγκεκριμένα μέσω της πειραματικής διάταξης του σχήματος 1, στα 3 πειράματα αυτά προσπαθούμε να βρούμε την ειδική θερμότητα διαφόρων υλικών μέσω του φαινομένου της ψύξης. Ως ειδική θερμότητα υλικού μάζας m ορίζετε το ποσό θερμότητας που απαιτεί η μονάδα μάζας του σώματος για την αύξηση της θερμοκρασίας του κατά έναν βαθμό (K). Για να μετρήσουμε την ειδική θερμότητα κάποιου υλικού μέσω του φαινομένου της ψύξης ακολουθούμε την παρακάτω πειραματική διάταξη:



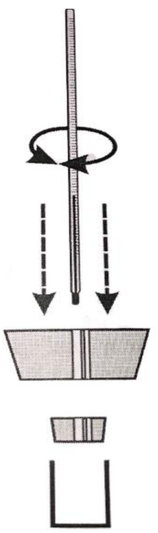
Σχήμα 1

Η πειραματική διάταξη αυτή αποτελείτε από τα εξής:

1. Ένα μικρό δοχείο αλουμίνιου
2. Η υπό μελέτη ουσία
3. Ένα ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο
4. Νερό
5. Χώρος σταθερής θερμοκρασίας (άλλο ένα ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο μικρότερου μεγέθους το οποίο είναι κολλημένο με το καπάκι που κλίνει μόνο το ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο (3))
6. Πώματα από θερμομονωτικό υλικό
7. Βαρίδια
8. Διάφανες σωλήνας με άνοιγμα από την πάνω και κάτω μεριά
9. Θερμοηλεκτρικό στοιχείο (θερμοζεύγος)
10. Ψηφιακό πολύμετρο
11. Επιλογέας ψηφιακού πολύμετρο
12. ON-OFF διακόπτης σειριακού διαύλου
13. Ηλεκτρονικός Υπολογιστής

Για να ξεκινήσουμε την μέτρηση της ειδικής θερμοκρασίας κάποιου ηλιακού πρέπει πρώτα να ετοιμάσουμε την πειραματική διάταξη, ακολουθούμε δηλαδή την εξής διαδικασία:

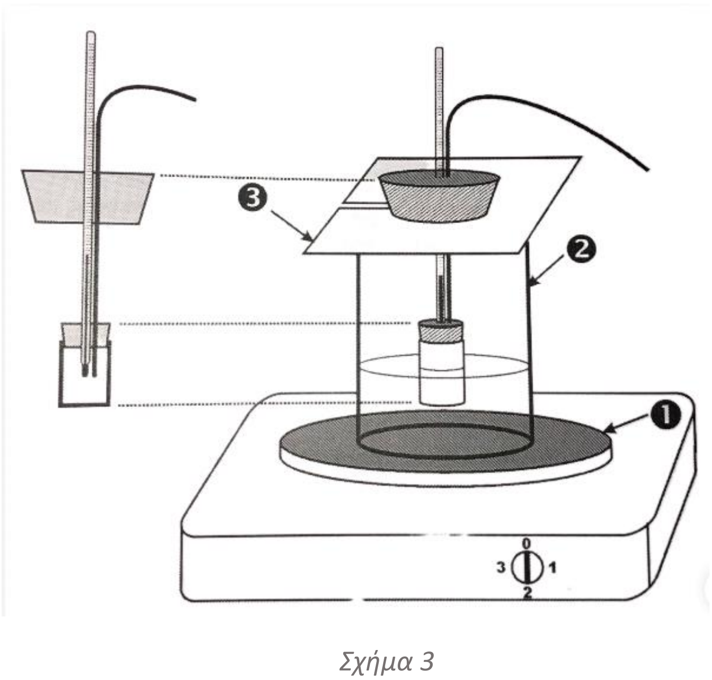
Καταρχάς πρώτα πάμε και συνδέουμε το θερμοζεύγος (9) με το ψηφιακό πολύμετρο (11) το οποίο και συνδέουμε τελικά με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή (13). Ο Η/Υ μέσο ενός προγράμματος μας εμφανίζει και καταγράφει της ενδείξεις του πολύμετρου, της οποίες και στο τέλος μπορούμε να αποθηκεύσουμε και να της επεξεργαστούμε μέσω προγραμμάτων στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων όπως το Excel. Έπειτα πάμε και ανοίγουμε δυο τρύπες και στα δυο πώματα ώστε από εκεί να περάσουμε το διάφανες σωλήνα και το θερμοζεύγος (σχήμα 2), να σημειωθεί ότι χρειαζόμαστε ένα μεγάλο και ένα μικρό πώμα, το μεγάλο θα πρέπει να κλίνει ακριβώς το ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο μικρότερου μεγέθους (5) και να μην επιτρέπει την διέλευση αέρα στο εσωτερικό ώστε να πέτυχουμε εκεί σταθερή θερμοκρασία, ενώ το μικρό θα πρέπει να χωράει ακριβός στο μικρό δοχείο αλουμίνιου (1), δηλαδή θα πρέπει να σφηνώνει σε αυτό ώστε να μην πέσει κατά την διάρκεια του πειράματος το δοχείο του αλουμίνιου. Ακόμη πρέπει να υπολογίσουμε όταν το μικρό πώμα σφηνώσει στο δοχείο αλουμίνιου (1) ο διαφανής σωλήνας αλλά και το θερμοζεύγος θα πρέπει να ακουμπάνε στο υγρό το οποίο μελετάμε.



Σχήμα 2

Σε αυτό το σημείο πάμε και μετράμε την μάζα του άδειου δοχείου αλουμίνιου (1) $\boldsymbol{m_1}$ **κ**αθώς θα μας χρειαστεί στην μαθηματική ανάλυση του πειράματος παρακάτω ($\mathrm{m_1} = 17\ \mathrm{gr}$). Ακόμη ετοιμάζουμε και το πολύμετρο μαζί με τον υπολογιστή, δηλαδή πάμε στο πολύμετρο και πατάμε το ON στον διακόπτη σειριακού διαύλου (12) ενώ μέσο του επιλογέα του πολύμετρου (11) διαλέγουμε να μας εμφανίζει θερμοκρασία σε (^oC). Στο Η/Υ ανοίγουμε το πρόγραμμα και σιγουρευόμαστε ότι εμφανίζει ακριβώς ότι και το πολύμετρο.

Εφόσον η διαδικασία της μετρήσεις της ειδικής θερμότητας θα επιτευχθεί μέσου του φαινομένου της ψύξης θα πρέπει πρώτα να αποκτήσει κάποια θερμοκρασία η προς μελέτη ουσία. Γι' αυτό θα χρειαστούμε άλλη μια πειραματική διάταξη (σχήμα 3) η οποία είναι η εξής:



Σχήμα 3

Η διάταξη του σχήματος 3 αποτελείτε από τα εξής:

1. Ηλεκτρική επιτραπέζια εστία
2. Δοχείο ζέσεως το οποίο περιέχει νερό
3. Μεταλλική πλακά στήριξης με σχισμή

Για να θερμανθεί η ουσία ακολουθούμε την παρακάτω απλή διαδικασία:

Καταρχάς γεμίζουμε λίγο πάνω από το μισώ το δοχείο αλουμίνιου (1) με την ουσία που θέλουμε να μελετήσουμε και σφηνώνουμε το δοχείο αυτό με το μικρό πώμα, έπειτα τοποθετούμε όλη την διάταξη του σχήματος 2 όπως ακριβώς παριστάνετε στο σχήμα 3. Πρέπει να προσέξουμε ότι το νερό το οποίο θα περιέχει το δοχείο ζέσεως (2) χρειάζεται να καλύπτει μόνο το κάτω μισό του δοχείου αλουμίνιου ή και λιγότερο. Τέλος ανοίγουμε την ηλεκτρική επιτραπέζια εστία (1) και παρατηρούμε το πολύμετρο ή τον Η/Υ εώς ότου η θερμοκρασία της ουσίας φτάσει στους 90 περίπου βαθμούς κελσίου.

Όταν η θερμοκρασία της ουσίας φτάσει του $90^{o}C$ προσεκτικά με ειδικά γάντια ή χρησιμοποιώντας χαρτί κουζίνας, βγάζουμε την διάταξη του σχήματος 2 μαζί με την μεταλλική πλακά στήριξης με σχισμή (3) από το δοχείο ζέσεων. Όσο η διάταξη βρίσκεται στον αέρα βγάζουμε την μεταλλική πλακά στήριξης και σκορπίζουμε πολύ καλά το νερό που βρίσκεται στο εξωτερικό του μικρού δοχείου αλουμίνιου (1).

Τέλος περνούμε την διάταξη του σχήματος 2 και την τοποθετούμε μέσα στο ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο μικρότερου μεγέθους (5) και πατάμε στο Η/Υ να αρχίσει της μετρήσεις και συγκεκριμένα να εμφανίζει μια μέτρηση θερμοκρασία κάθε 10 ή 5 δευτερόλεπτα, ανάλογα την ακρίβεια που θέλουμε να έχουμε. Όταν τελικά η θερμοκρασία της ουσίας φτάσει στους $55^{o}C$ σταματάμε την μέτρηση του Η/Υ και αποθηκεύουμε τα πειραματικά δεδομένα αυτά.

Για την μαθηματική μελέτη των πειραμάτων αυτών θα χρειαστούμε την θεωρία σφαλμάτων και την θεωρία ελάχιστων τετράγωνων.

Σύμφωνα με την θεωρία σφαλμάτων ως $\boldsymbol{x}$ ορίζουμε οποιαδήποτε τιμή μετράμε στο πείραμα μας, εάν δεν υπήρχαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την επαναληψιμότητα των μετρήσεων η τιμή αυτή θα έπαιρνε την μορφή **X**. Λόγο των παραγόντων αυτόν συμπεραίνουμε ότι θα υπάρχει κάποιο σφάλμα **ε** στης μετρήσεις μας, το σφάλμα αυτό ορίζετε ως : $\boldsymbol{x - X = \varepsilon}$ (1) , ακόμη ορίζουμε και το τυπικό σφάλμα **σ** των μετρήσεων μας όπου :

$$\boldsymbol{\sigma = \sqrt{\langle \varepsilon^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i^2}} \quad (1.1)$$, όπου **n** οι συνολικές μετρήσεις.

Παίρνοντας τον μέσο όρο δήγματος : $$\boldsymbol{\overline{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \cdots + x_n)} \quad (1.2)$$

το σφάλμα του μέσου ορού θα ορίζετε ως εξής **E** = $\boldsymbol{\overline{x} - X}$ (2.3) ενώ η τυπική απόκλιση στο μέσο όρο θα ορίζετε ως :

$$\boldsymbol{\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} E_i^2} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (1.3) .$$

Τέλος ορίζουμε και την απόκλιση d των μετρήσεων μας όπου :

$$\boldsymbol{d_i = x_i - \overline{x}} \quad (1.4) .$$

Σύμφωνα με την θεωρία ελαχίστων τετραγώνων σχεδιάζοντας μια οποιαδήποτε γραφική παράσταση ($\boldsymbol{y_i}$-$\boldsymbol{x_i}$) χρησιμοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα ενός πειράματος μας, μπορούμε σύμφωνα με την θεωρία να βρούμε την ευθεία ελάχιστων τετράγωνων $x = \boldsymbol{\alpha} \cdot t + \boldsymbol{\beta}$ (1.5) της γραφικής παράστασης ως εξής : Καταρχάς θεωρούμε ως $\boldsymbol{\delta_i}$ της αποκλίσεις τον σημείων από την ευθεία αυτή, σύμφωνα με την θεωρία η ζητούμενη ευθεία είναι εκείνη για την οποία το άθροισα S των τετραγώνων των αποκλίσεων $\boldsymbol{S} = \sum \boldsymbol{\delta_i^2} = \sum[\boldsymbol{y_i} - (\boldsymbol{\alpha} \cdot \boldsymbol{x_i} + \boldsymbol{\beta})]^{\,2}$ γίνεται ελάχιστο. Βρίσκοντας τα ελάχιστο της συνάρτησης αυτής και λύνοντας ως προς α και β προκύπτει ότι :

$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{\mathbf{n}\cdot\sum(x_i\cdot y_i)-(\sum x_i)\cdot(\sum y_i)}{\mathbf{n}\cdot(\sum {x_i}^2)-(\sum x_i)^2} \quad (1.6) \quad \text{και} \quad \boldsymbol{\beta} = \frac{\sum {x_i}^2\cdot\sum(y_i)-(\sum x_i)\cdot(\sum(x_i\cdot y_i))}{\mathbf{n}\cdot(\sum x_i^2)-(\sum x_i)^2} \quad (1.7)$$

Επειδή όμως υπάρχει αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ευθείας λόγο αβεβαιότητας στα πειραματικά μας δεδομένα αυτό σημαίνει και την ύπαρξη τυπικής απόκλισης στην τιμή των συντελεστών α και β, η οποία δίνετε από τους παρακάτω τύπους :

$$\boldsymbol{\sigma_\alpha} = s_y \cdot \sqrt{\frac{n}{n\cdot(\sum \boldsymbol{t_i}^2)-(\sum \boldsymbol{t_i})^2}} \quad (1.8) \qquad \boldsymbol{\sigma_\beta} = s_y \cdot \sqrt{\frac{(\sum \boldsymbol{t_i}^2)}{n\cdot(\sum \boldsymbol{t_i}^2)-(\sum \boldsymbol{t_i})^2}} \quad (1.9)$$

Όπου $$\boldsymbol{s_y} = \sqrt{\frac{\sum \boldsymbol{\delta_i^2}}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum[\boldsymbol{x_i}-(\boldsymbol{a}\boldsymbol{t_i}+\boldsymbol{\beta})]^{\,2}}{n-2}} \quad (2)$$

Πέρα από την δυο θεωρίες αυτές χρειάζεται να κάνουμε μια θεωρητική εισαγωγή στην θερμοδυναμική.

Καταρχάς θα πρέπει να ορίσουμε μαθηματικά την εξίσωση της ειδικής θερμότητας, όπως ειπώθηκε στην εισαγωγή, ως ειδική θερμότητα υλικού μάζας m ορίζετε το ποσό θερμότητας που απαιτεί η μονάδα μάζας του σώματος για την αύξηση της θερμοκρασίας του κατά έναν βαθμό (Kelvin). Η σχέση που δίνει την ειδική θερμότητα **c** συνάρτηση της μάζας **m**, της θερμότητας **Q** και της θερμοκρασίας **T**, έχοντας υπόψιν ότι η πίεση παραμένει σταθερή, είναι η εξής:

$$c = \frac{1}{m}\cdot\frac{dQ}{dT} \quad (2.1), \quad \text{εκφραζετε σε } \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\cdot\mathrm{K}$$

Εάν θεωρήσουμε την ποσότητα $\frac{dQ}{dT} = K$ η οποία εκφράζει την θερμοχωρητικότητα του σώματος μάζας m, δηλαδή το πηλίκο θερμότητας dQ που προσφαιρουμε σε ένα σώμα για να προκαλέσουμε μεταβολή της θερμοκρασίας του κατά dT προς την μεταβολή dT ,η σχέση (2.1) παίρνει την μορφή:

$$\mathrm{c} = \frac{1}{\mathrm{m}}\cdot\mathrm{K} \Rightarrow \mathbf{K} = \mathbf{m}\cdot\mathbf{c} \quad (2.2)$$

Για να προσδιορίσουμε την ειδική θερμότητα c ενός σώματος πρέπει να το φέρουμε σε θερμική αλληλεπίδραση με ένα άλλο σώμα (στα δικά μας πειράματα το άλλο σώμα είναι το ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο (3) μαζί με το νερό) και να μελετήσουμε την θερμοδυναμική μεταβολή που θα επέλθει. Λόγο της αλληλεπίδρασης αυτής πρέπει να ορίσουμε την έννοια του θερμοδυναμικού συστήματος. Στην θερμοδυναμική το τμήμα του περιβάλλοντος του οποίου την συμπεριφορά ενδιαφερόμαστε να μελετήσουμε ονομάζεται σύστημα. Άρα εφόσον στα πειράματα μας φέρνουμε σε επαφή την διάταξη του σώματος του οποίου ενδιαφερόμαστε να βρούμε την ειδική θερμότητα (δηλαδή το μικρό δοχείο αλουμίνιου (1) μαζί με την ουσία) με το ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο (3) μαζί με το νερό, το οποίο θα ονομάσουμε δεξαμενή θερμότητας, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι έχουμε δυο συστήματα, της δεξαμενή θερμότητας και το μικρό δοχείο αλουμίνιου (1) μαζί με την ουσία.

Ακόμη γνωρίζουμε ότι όταν δυο συστήματα διαφορετικής θερμοκρασίας έρθουν σε επαφή τότε η κατάσταση τους θα αλλάξει έως ότου φτάσουν στην κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας, δηλαδή εώς ότου αποκτήσουν ίδιες θερμοκρασίες. Εάν θεωρήσουμε ως θ_δ την θερμοκρασία της δεξαμενής, ως θ την θερμοκρασία του δοχείου αλουμίνιου (1) μαζί με την ουσία και ως Θ την θερμοκρασία του συστήματος, εάν ορίσουμε ακόμη ότι $\mathbf{\Theta = \theta - \theta_\delta}$ τότε στην κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας οπού $\mathbf{\theta = \theta_\delta}$ θα ισχύει ότι $\mathbf{\Theta = 0}$. Την θ_δ μπορούμε ευκολά να την μετρήσουμε εάν χωρίς να βάλουμε κάποια ουσία μέσα στο δοχείου αλουμίνιου (1) τοποθετήσουμε την διάταξη μέσα στην δεξαμενή θερμότητας και παρατηρώντας την ένδειξη του πολύμετρο, στην δικιά μας περίπτωση η θερμοκρασία αυτή ήταν ίση με $\mathbf{\theta_\delta = 20.8^oC}$ την οποία θα χρησιμοποιήσουμε και παρακάτω ως δεδομένη.

Επειδή όταν θερμάνουμε το υπό μελέτη σύστημα και το βάλουμε μέσα στην δεξαμενή αυτό θα έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία της δεξαμενής θ_δ, η κατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας θα επιτευχθεί με το να μεταφερθεί ενέργεια από το υπό μελέτη σύστημα στην δεξαμενή. Σύμφωνα με την θερμοδυναμική η θερμότητα αυτή μπορεί να μεταφερθεί με 3 διαφορετικούς τρόπους, με επαφή, με ακτινοβολία και με μεταφορά. Η 2 πρώτοι τρόποι δεν θα μας απασχολήσουν διότι δεν έχουμε επαφή του υπό μελέτη συστήματος με την δεξαμενή και η θερμότητα που μεταφέρεται μέσω ακτινοβολίας είναι πολύ μικρή. Λόγο της μεταφοράς αυτής η θερμοκρασία του υπό μελέτης συστήματος θα μειωθεί, ενώ η θερμοκρασία της δεξαμενής θα αυξηθεί. Έναν συμβολίσουμε με Κ και K_δ τις θερμοχωρητικότητες του συστήματος και της δεξαμενής αντίστοιχα, οι μεταβολές θερμότητας που πραγματοποιούνται, δηλαδή το $dQ < 0$ για το προς μελέτη σύστημα που χάνει θερμότητα και το $dQ > 0$ Της δεξαμενής που προσέλαβε θερμότητα, συμβολίζονται με την εξίσωση θερμιδομετρίας:

$$\mathrm{dQ = K \cdot d\theta = -K_\delta \cdot d\theta_\delta} \quad (2.3)$$

Εφόσον το υπό μελέτη σύστημα αποτελείτε από το δοχείου αλουμίνιου και το περιεχόμενο του (την ουσία), δηλαδή δυο ουσίες με μάζες $\mathrm{m_1}$ και $\mathrm{m_2}$ και αντίστοιχες ειδικές θερμότητες $\mathrm{c_1}$ και $\mathrm{c_2}$ μπορούμε να γράψουμε ότι:

$$K = \mathrm{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \quad (2.4)$$

Σύμφωνα με την (2.3) όμως:

$$(2.3) \overset{(2.4)}{\Longrightarrow} dQ = \mathrm{K \cdot d\theta = (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2)\, d\theta} \Rightarrow \boldsymbol{dQ} = (\mathbf{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2})\, \mathbf{d\theta} \quad (2.5)$$

Ακόμη μέσω του νομού του Νεύτωνα για την ψύξη, που διατυπώθηκε από τον ίδιο και αφορά την ταχύτητα με την οποία ανταλλάσσεται η θερμότητα ενός σώματος με το περιβάλλον του ισχύει ότι :

$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot \Theta$ (2.6) , οπού λ είναι η σταθερά της αναλογίας.

Τελικά έναν διαιρέσουμε την (2.5) με dt θα προκύψει ότι:

$$(2.5) \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = (\mathrm{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}) \cdot \frac{\mathrm{d}\Theta}{dt} \overset{(2.6)}{\Longrightarrow} -\lambda \cdot \Theta = (\mathrm{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}) \cdot \frac{\mathrm{d}\Theta}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{\mathbf{d}\boldsymbol{\Theta}}{\boldsymbol{dt}} = -\left[\frac{\boldsymbol{\lambda}}{\mathbf{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}}\right] \cdot \boldsymbol{\Theta} \quad (2.7)$$

Η σχέση (2.7) είναι μια διαφορική εξίσωση η λύση της οποίας είναι η εξής:

$$\boldsymbol{\Theta = \Theta_0 \cdot e^{-\frac{\lambda}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \cdot t}} \text{ ή } \boldsymbol{(\Theta - \Theta_\delta) = (\Theta_0 - \Theta_\delta) \cdot e^{-\frac{\lambda}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \cdot t}} \quad (2.8)$$

Η σχέση (2.8) περιέχει της τιμές λ και c_2 όπου στα παρακάτω πειράματα θα προσπαθήσουμε μέσω των πειραματικών δεδομένων να βρούμε. Για να το πετύχουμε αυτό όμως θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την θεωρία ελαχίστων τετραγώνων, δηλαδή πρέπει να μετατρέψουμε την σχέση (2.8) σε εξίσωση ευθείας της μορφής ($y = \alpha \cdot x + \beta$). Για να κάνουμε αυτήν την μετατροπή εφόσον η σχέση (2.8) είναι της μορφής $y = De^{kx}$ θα πρέπει να λογαριθμίσουμε και του δυο όρους της σχέσης, δηλαδή:

$$(2.8) \Rightarrow \ln(\Theta - \Theta_\delta) = \ln((\Theta_0 - \Theta_\delta) \cdot e^{-\frac{\lambda}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \cdot t}) = \ln(\Theta_0 - \Theta_\delta) + \ln e^{-\frac{\lambda}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \cdot t}$$

$$\Rightarrow \ln(\Theta - \Theta_\delta) = \ln(\Theta_0 - \Theta_\delta) - \frac{\lambda}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \cdot t = -\frac{\lambda}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \cdot t + \ln(\Theta_0 - \Theta_\delta)$$

$$\Rightarrow \mathbf{\ln(\Theta - \Theta_\delta) = -\frac{\lambda}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \cdot t + \ln(\Theta_0 - \Theta_\delta)} \quad (2.9)$$

Θέτοντας όπου $\boldsymbol{y} \longrightarrow \mathbf{\ln(\Theta - \Theta_\delta)}$, $\boldsymbol{\alpha} \longrightarrow -\frac{\lambda}{\mathbf{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}}$ και οπου $\boldsymbol{\beta} \longrightarrow \mathbf{\ln(\Theta_0 - \Theta_\delta)}$

Έχουμε καταφέρει να μετατρέψουμε την σχέση (2.8) σε εξίσωση ευθείας και το μόνο που μένει είναι σύμφωνα με την θεωρία να βρούμε το α και β μέσω των εξισώσεων (1.6) και (1.7).

Τα δεδομένα για τα παρακάτω πειράματα είναι τα εξής:

1. Μάζα του άδειου δοχείου αλουμίνιου (1) $\mathbf{m_1 = 17\ gr = 0.017\ kg}$
2. Ειδική θερμότητα δοχείου αλουμίνιου (1) $\mathbf{c_1 = 895\ J/kg \cdot K}$
3. Σταθερά αναλογίας $\boldsymbol{\lambda} \approx \mathbf{0,04\ K/J}$
4. Θερμοκρασία δεξαμενής θερμότητας $\mathbf{\Theta_\delta = 20,8\ ^oC}$

Πείραμα 1°

Με το 1° πείραμα έχουμε ως στόχο να βρούμε καταρχάς μια πειραματική τιμή για την σταθερά αναλογίας λ και να την συγκρίνουμε με την τιμή $\lambda \approx 0{,}04\ K/J$ η οποία έχει προσδιοριστεί για το συγκεκριμένο δοχείο αλουμίνιου που χρησιμοποιούμε στα πειράματα μας. Έπειτα θα πρέπει να βρούμε την ειδική θερμότητα του απεσταγμένου νερού c_2, μια φορά θεωρώντας δεδομένη την τιμή του πειραματικού λ που βρήκαμε και μια ακόμη μέσω της τιμής $\lambda \approx 0{,}04\ K/J$.

Έχοντας λοιπόν κάνει έτοιμη την πειραματική διάταξη, πάμε και γεμίζουμε το μισό και λίγο παραπάνω του δοχείου αλουμίνιου (1) με απεσταγμένο νερό και μετράμε με μια ζυγαριά την μάζα του δοχείου συνολικά. Στην δική μας μέτρηση η τιμή αυτή ήταν ίση με $m_{o\lambda} = 32\ gr$. Επειδή $m_{o\lambda} = m_1 + m_2$ $\Rightarrow m_2 = m_{o\lambda} - m_1 = 32 - 17 = 15\ gr = 0.015\ kg \Rightarrow \mathbf{m_2 = 15\ gr = 0.015\ kg}$ δηλαδή αυτό σημαίνει ότι προσθέσαμε 15 gr απεσταγμένου νερού στο δοχείο αλουμίνιου.

Προσεκτικά λοιπόν παίρνουμε το δοχείο και πάμε και το κουμπώνουμε στο μικρό πώμα της διάταξης του σχήματος 2. Ανοίγουμε την ηλεκτρική επιτραπέζια εστία του σχήματος 3 και τοποθετούμε την διάταξη μαζί με την μεταλλική πλακά στήριξης μέσα στο δοχείο ζέσεως το οποίο περιέχει νερό. Παρατηρούμε τον Η/Υ η το πολύμετρο και όταν η θερμοκρασία του απεσταγμένου νερού φτάσει στους 90 βαθμούς Κελσίου βγάζουμε την διάταξη, αφαιρούμε την μεταλλική πλακά προσεκτικά χρησιμοποιώντας κάποιο χαρτί κουζίνας διπλωμένο ή γάντια ώστε να μην καούμε και σκουπίζουμε με χαρτί το δοχείου αλουμίνιου ώστε να αφαιρέσουμε το νερό από την έξω μεριά του.

Έπειτα τοποθετούμε την διάταξη μέσα στο ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο μικρότερου μεγέθους (5) και προσέχουμε το μεγάλο πώμα να κλίσει καλά ώστε να μην επιτρέπει την διέλευση αέρα στο εσωτερικό. Όταν το κάνουμε αυτό πατάμε στον υπολογιστή να αρχίσει την καταγραφή των ενδείξεων του πολύμετρου και να κάνει μια καταγραφή ανά 10 δευτερόλεπτα, σταματάμε την καταγραφή όταν τελικά η θερμοκρασία του απεσταγμένου νερού φτάσει 55 βαθμούς Κελσίου. Αποθηκεύουμε τα δεδομένα αυτά στον Η/Υ ώστε να μπορέσουμε αργότερα να τα επεξεργαστούμε. Τα πειραματικά δεδομένα αυτά για το 1^{o} πείραμα αποτυπώνονται στον πίνακα 1.

α/α	Θ(oC)	t(s)
1	91.4	0
2	87.8	40
3	85.6	80
4	83.7	120
5	82	160
6	80.4	200
7	78.9	240
8	77.5	280
9	76.2	320
10	74.9	360
11	73.7	400
12	72.5	440
13	71.4	480
14	70.2	520
15	69.3	560
16	68.2	600
17	67.2	640
18	66.2	680
19	65.3	720
20	64.4	760
21	63.5	800
22	62.7	840
23	61.8	880
24	61.1	920
25	60.2	960
26	59.5	1000
27	58.7	1040
28	58	1080
29	57.3	1120
30	56.7	1160
31	56	1200
32	55.3	1240

Πίνακας 1

Να σημειωθεί ότι στον πίνακα 1 παρουσιάζουμε μόνο τα πειραματικά δεδομένα ανά 40 s ώστε στην γραφική παράσταση παρακάτω να μην εμφανίζονται πολλά σημεία, παρολ'αυτα στης μαθηματικές πράξεις για την εύρεση αγνώστων τιμών θα χρησιμοποιήσουμε όλα τα πειραματικά δεδομένα ανά 10 s τα οποία είναι 126 συνολικά.

Για να βρούμε λοιπόν την πειραματική τιμή του λ εκμεταλλευόμαστε το εξής:

Για μικρές διάφορες χρόνου, η βασική μας διαφορική εξίσωση (2.7) μπορεί να δώσει την ακόλουθη προσεγγιστική μορφή:

$$\frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} = -\left[\frac{\lambda}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}\right] \cdot \frac{(\theta_2 + \theta_1 - 2\theta_\delta)}{2}$$

Όπου θ_2 και θ_1 είναι η θερμοκρασίες στο τέλος και στην ράχη της μικρής χρονικής μεταβολής Δt, εάν διαλέξουμε λοιπόν μια μικρή χρονική μεταβολή και πάρουμε και της αντίστοιχες θερμοκρασίες, θεωρώντας γνωστό και την ειδική θερμότητα του απεσταγμένου νερού ίση με $c_2 = 4186\, J/kg \cdot K$ μπορουμε από την σχέση αυτή να βρούμε το λ_π. Έτσι θα ισχύει το εξής:

$$\frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} = -\left[\frac{\lambda_\pi}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}\right] \cdot \frac{(\theta_2 + \theta_1 - 2\theta_\delta)}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{60 - 70}{970 - 530} == -\left[\frac{\lambda_\pi}{0.017 \cdot 895 + 0.015 \cdot 4186}\right] \cdot \frac{(60 + 70 - 2 \cdot 20.8)}{2}$$

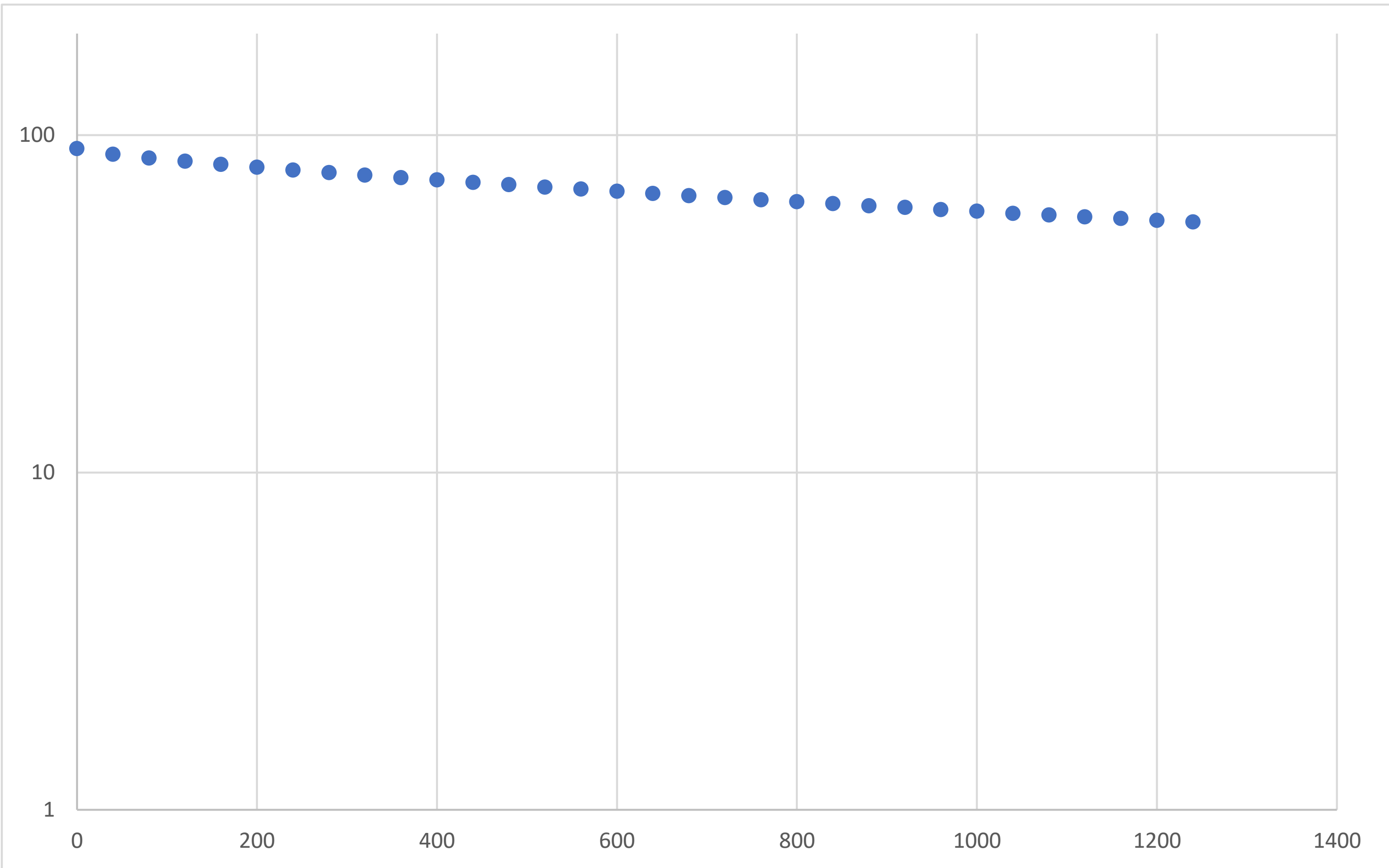
$$\Rightarrow \lambda_\pi = -\frac{2 \cdot (60 - 70) \cdot (0.017 \cdot 895 + 0.015 \cdot 4186)}{(970 - 530) \cdot (60 + 70 - 2 \cdot 20.8)} = 0.0401 \frac{K}{J}$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\lambda_\pi = 0.0401\ \mathrm{K/J}}$$

Η τιμή αυτή όπως εύκολα παρατηρεί κάνεις είναι πάρα πολύ κοντά στην τιμή $\lambda \approx 0{,}04\ K/J$. Εάν θεωρήσουμε αυτήν ως πραγματική τιμή του λ τότε το πειραματικό λ που βγάλαμε μέσω της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων έχει σφάλμα ίσο με : $\varepsilon_{\lambda\pi} = \lambda_\pi - \lambda = 0.0401 - 0{,}04 \ = 0{,}0001$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\varepsilon_{\lambda\pi} = 0.0001}$$

Έπειτά θα πάμε να υπολογίσουμε την ειδική θερμότητα του απεσταγμένου νερού c_2. Χρειάζεται πρώτα λοιπόν σύμφωνα με την θεωρεία να σχεδιάσουμε την γραφική παράσταση $(\boldsymbol{y \longrightarrow ln(\Theta - \Theta_\delta)}) - (\boldsymbol{x \longrightarrow t})$ (Σχήμα 4), η γραφική παράσταση αυτή θα πρέπει να είναι ημιλογαριθμική λόγο του y.



Σχήμα 4

Χρειάζεται πρώτα λοιπόν σύμφωνα με την θεωρεία να σχεδιάσουμε την γραφική παράσταση $(\boldsymbol{y} \longrightarrow \boldsymbol{ln}(\boldsymbol{\Theta} - \boldsymbol{\Theta_\delta})) - (\boldsymbol{x} \longrightarrow \boldsymbol{t})$ (Σχήμα 4), η γραφική παράσταση αυτή θα πρέπει να είναι ημιλογαριθμική λόγο του y.

Ακόμη θα χρειαστούμε και τον πίνακα 1.1 οποίος προκύπτει από τα συνολικά 126 πειραματικά δεδομένα του πειράματος, τον οποίον θα χρησιμοποιήσουμε για την λύση των εξισώσεων (1.6) και (1.7).

n	Σ(ln(Θ-Θδ))	Σt	Σ(Ln(Θ-Θδ))*t)	Σt^2
126	485,97396	78750	294637,3	65887500

Πίνακας 1.1

Σύμφωνα λοιπόν με την σχέση (1.6) και τον πίνακα 1.1 θα ισχύει ότι :

$$\alpha = \frac{\mathrm{n} \cdot \sum(\mathrm{x_i} \cdot \mathrm{y_i}) - (\sum \mathrm{x_i}) \cdot (\sum \mathrm{y_i})}{\mathrm{n} \cdot \left(\sum \mathrm{x_i}^2\right) - (\sum \mathrm{x_i})^2} = \frac{126 \cdot 294637.3 - 78750 \cdot 485.97396}{126 \cdot 65887500 - 78750^2} = -0.00050223529$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\alpha = -0.00050223529}$$

Ενώ σύμφωνα με την (1.7):

$$\beta = \frac{\sum x_i^2 \cdot \sum(y_i) - (\sum x_i) \cdot (\sum(x_i \cdot y_i))}{n \cdot (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} = \frac{65887500 \cdot 485.97396 - 78750 \cdot 294637.3}{126 \cdot 65887500 - 78750^2} = 0.0153923171$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\beta = 0.0153923171}$$

Αντικαταστώντας σύμφωνα με τα θέτω που είχαμε κάνει παραπάνω θα ισχύει ότι:

$$\alpha = -\frac{\lambda_\pi}{\mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} + \mathrm{m_2} \cdot \mathrm{c_{2\pi}}} \Rightarrow \mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} + \mathrm{m_2} \cdot \mathrm{c_{2\pi}} = -\frac{\lambda_\pi}{\alpha} \Rightarrow \mathrm{m_2} \cdot \mathrm{c_{2\pi}} = -\mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} - \frac{\lambda_\pi}{\alpha}$$

$$\Rightarrow \mathrm{c}_{2\pi} = \frac{1}{\mathrm{m_2}}\left(-\mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} - \frac{\lambda_\pi}{\alpha}\right) = \frac{1}{0{,}015}\left(-0{,}017 \cdot 895 - \frac{0{,}0401}{(-0.00050223529)}\right) = 4332{,}33\ J/kg \cdot K$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\mathrm{c_{2\pi}} = 4332{,}33\ J/kg \cdot K}$$

Η τιμή αυτή προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την πραγματική τιμή της ειδικής θερμότητας του απεσταγμένου νερού ίση με $c_2 = 4186\, J/kg \cdot K$ και το σφάλμα που εμφανίζει είναι ίσο με $\varepsilon_{c2\pi} = 4332{,}33 - 4186 = 146{,}33 \Rightarrow \boldsymbol{\varepsilon_{c2\pi} = 146{,}33}$

Από την άλλη εάν χρησιμοποιήσουμε την τιμή του λ για την εύρεση του c_2:

$$\mathrm{c_2} = \frac{1}{\mathrm{m_2}}\left(-\mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} - \frac{\lambda}{\alpha}\right) = \frac{1}{0{,}015}\left(-0{,}017 \cdot 895 - \frac{0{,}04}{(-0.00050223529)}\right) = 4319\,\frac{J}{kg} \cdot K$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\mathrm{c_2} = 4319\ J/kg \cdot K}$$

Σε αυτήν την περίπτωση το σφάλμα θα είναι ίσο με :

με $\varepsilon_{c2} = 4319 - 4186 = 133 \Rightarrow \boldsymbol{\varepsilon_{c2} = 133}$

Και στης δυο περιπτώσεις το σφάλμα είναι μεγάλο και για αυτό ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό τα άλατα που υπήρχαν τα οποία όπως φαίνεται επηρέασαν την ειδική θερμότητα του απεσταγμένου νερού.

Πείραμα 2ο

Έχοντας γνωστό λοιπόν το λ_π από το προηγούμενο πείραμα, μπορούμε χρησιμοποιώντας αυτό και την διαδικασία που ακολουθήσαμε παραπάνω, να βρούμε την ειδική θερμότητα c άλλων ουσιών. Συγκεκριμένα με το 2ο πείραμα έχουμε ως στόχο να βρούμε την ειδική θερμότητα της γλυκερίνης. Η γλυκερίνη χρησιμοποιείτε στην βιομηχανία ως πρώτη ύλη στην παραγωγή φαρμάκων, καλλυντικών, βερνικιών, σαπουνιών και στο ηλεκτρονικό τσιγάρο ως υγρό - βάση αναπλήρωσης φίλτρων, εντός της οποίας προστίθενται αρώματα και νικοτίνη. Δηλαδή η ουσία αυτή χρησιμοποιείτε συχνά στην βιομηχανία και σίγουρα χρειάζεται για να φτιάξει κανείς ένα προϊόν με αυτή να γνωρίζει την ειδική θερμότητα της.

Ακολουθούμε λοιπόν την εξής διαδικασία για την εύρεση της ειδικής θερμότητα της γλυκερίνης, καταρχάς βγάζουμε την διάταξη του σχήματος 2 και ξεκολλάμε το μικρό πώμα από το δοχείο αλουμίνιου (1), αφαιρούμε το απεσταγμένο νερό στο εσωτερικό και καθαρίζουμε καλά ώστε να μην εμπεριέχει άλλο απεσταγμένο νερό μέσα το δοχείο. Έπειτά πάμε και γεμίζουμε λίγο παραπάνω από το μισό του δοχείου με γλυκερίνη και ζυγίζουμε το δοχείο ώστε να προσδιορίσουμε την μάζα ($m_{ο\lambda} = 0.038\ kg\ και\ m_2 = m_{ο\lambda} - m_1 = 0.038 - 0.017 = 0.021\ kg \Rightarrow \boldsymbol{m_2 = 0.021\ kg}$) της γλυκερίνης που προσθέσαμε και ανατοποθετούμε το δοχείο στην διάταξη του σχήματος 2 σφηνώνοντας το στο μικρό πώμα.

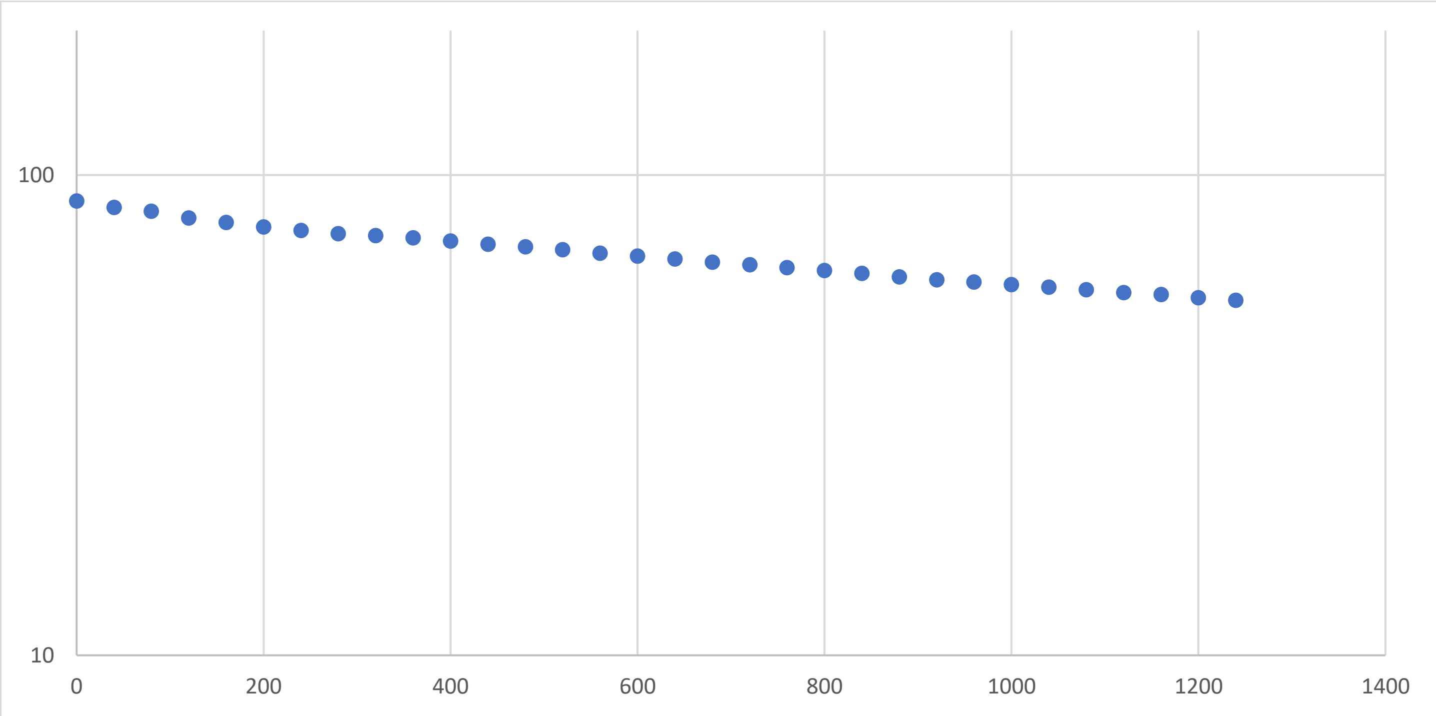
Ανοίγουμε την ηλεκτρική επιτραπέζια εστία του σχήματος 3 και τοποθετούμε την διάταξη μαζί με την μεταλλική πλακά στήριξης μέσα στο δοχείο ζέσεως, προσέχουμε το νερό που έχει μέσα το δοχείο ζέσεων εάν έχει εξατμιστεί, να το ξαναγεμίσουμε με την ποσότητα που χρειάζεται. Παρατηρούμε τον Η/Υ η το πολύμετρο και όταν η θερμοκρασία της γλυκερίνης φτάσει στους 90 βαθμούς Κελσίου βγάζουμε την διάταξη, αφαιρούμε την μεταλλική πλακά προσεκτικά χρησιμοποιώντας κάποιο χαρτί κουζίνας διπλωμένο ή γάντια ώστε να μην καούμε και σκουπίζουμε με χαρτί το δοχείου αλουμίνιου ώστε να αφαιρέσουμε το νερό από την έξω μεριά του.

Έπειτα τοποθετούμε την διάταξη μέσα στο ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο μικρότερου μεγέθους (5) και προσέχουμε το μεγάλο πώμα να κλίσει καλά ώστε να μην επιτρέπει την διέλευση αέρα στο εσωτερικό. Όταν το κάνουμε αυτό πατάμε στον υπολογιστή να αρχίσει την καταγραφή των ενδείξεων του πολύμετρου και να κάνει μια καταγραφή ανά 10 δευτερόλεπτα, σταματάμε την καταγραφή όταν τελικά η θερμοκρασία της γλυκερίνης φτάσει 55 βαθμούς Κελσίου. Αποθηκεύουμε τα δεδομένα αυτά στον Η/Υ ώστε να μπορέσουμε αργότερα να τα επεξεργαστούμε. Τα πειραματικά δεδομένα (ανά 40 s) για το 2ο πείραμα αποτυπώνονται στον πίνακα 2.

α/α	θ(oC)	t(s)
1	88.4	0
2	87.9	40
3	85.3	80
4	83.1	120
5	81.2	160
6	79.2	200
7	77.7	240
8	76.4	280
9	75.3	320
10	74.5	360
11	73.8	400
12	72.6	440
13	71.6	480
14	70.7	520
15	69.8	560
16	68.6	600
17	67.6	640
18	66.5	680
19	65.6	720
20	64.9	760
21	64	800
22	63.1	840
23	62.3	880
24	61.2	920
25	60.5	960
26	59.7	1000
27	59	1040
28	58.3	1080
29	57.6	1120
30	56.9	1160
31	56.2	1200
32	55.4	1240

Πίνακας 2

Σύμφωνα με την θεωρία ελάχιστων τετραγώνων πρέπει ομοίως να σχεδιάσουμε την γραφική παράσταση $(\boldsymbol{y} \longrightarrow \boldsymbol{ln}(\boldsymbol{\Theta} - \boldsymbol{\Theta_\delta})) - (\boldsymbol{x} \longrightarrow \boldsymbol{t})$ (Σχήμα 5).



Σχήμα 5

n	Σ(ln(Θ-Θδ))	Σt	Σ(Ln(Θ-Θδ))*t)	Σt^2
127	488,972615	80010	299142,9497	67475100

Πίνακας 2.2

Σύμφωνα λοιπόν με την σχέση (1.6) και τον πίνακα 2.2 θα ισχύει ότι :

$$\alpha = \frac{\mathrm{n} \cdot \sum(\mathrm{x_i} \cdot \mathrm{y_i}) - (\sum \mathrm{x_i}) \cdot (\sum \mathrm{y_i})}{\mathrm{n} \cdot (\sum \mathrm{x_i}^2) - (\sum \mathrm{x_i})^2} = \frac{127 \cdot 299142{,}9497 - 80010 \cdot 488{,}972615}{127 \cdot 67475100 - 80010^2} = -0.00052199321$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{\alpha = -0.00052199321}$$

Ενώ σύμφωνα με την (1.7):

$$\beta = \frac{\sum {x_i}^2 \cdot \sum(y_i) - (\sum x_i) \cdot (\sum(x_i \cdot y_i))}{n \cdot (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} = \frac{67475100 \cdot 488{,}972615 - 80010 \cdot 299142{,}9497}{127 \cdot 67475100 - 80010^2}$$

$$= 4.17903379491 \Rightarrow \boldsymbol{\beta = 4.17903379491}$$

Αντικαταστώντας σύμφωνα με τα θέτω που είχαμε κάνει παραπάνω θα ισχύει ότι:

$$\alpha = - \frac{\lambda_\pi}{\mathrm{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_{2\pi}}} \Rightarrow \mathrm{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_{2\pi}} = -\frac{\lambda_\pi}{\alpha} \Rightarrow \mathrm{m_2 \cdot c_{2\pi}} = -\mathrm{m_1 \cdot c_1} - \frac{\lambda_\pi}{\alpha}$$

$$\Rightarrow \mathrm{c}_{2\pi} = \frac{1}{\mathrm{m_2}}\left(-\mathrm{m_1 \cdot c_1} - \frac{\lambda_\pi}{\alpha}\right) = \frac{1}{0{,}021}\left(-0{,}017 \cdot 895 - \frac{0{,}0401}{(-0.00052199321)}\right) = 2933.61536344\ J/kg \cdot K$$

$$\Rightarrow \mathbf{c_{2\pi}} = \boldsymbol{2933.61536344\ J/kg \cdot K}$$

Η τιμή αυτή προσεγγίζει την πραγματική τιμή της ειδικής θερμότητας της γλυκερίνης η οποία όμως δεν είναι σταθερή και μεταβάλετε με την θερμοκρασία, δηλαδή η τιμή της κυμαίνεται από 2625 $J/kg \cdot K$ στους $80^o C$ εώς 2505 $J/kg \cdot K$ στους $50^o C$.

Από την άλλη εάν χρησιμοποιήσουμε την τιμή του λ για την εύρεση του c_2:

$$\mathrm{c_2} = \frac{1}{\mathrm{m_2}}\left(-\mathrm{m_1 \cdot c_1} - \frac{\lambda}{\alpha}\right) = \frac{1}{0{,}021}\left(-0{,}017 \cdot 895 - \frac{0{,}04}{(-0.00052199321)}\right) = 2924.493\ \frac{J}{kg} \cdot K$$

$$\Rightarrow \mathbf{c_2} = \boldsymbol{2924.493\ \ J/kg \cdot K}$$

Και στης δυο περιπτώσεις το σφάλμα είναι πολύ μεγάλο και για αυτό ευθύνονται πολλά πράγματα τα οποία δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε ακριβώς. Μπορεί για παράδειγμα το δοχείο αλουμίνιου να μην καθαρίστηκε τόσο καλά όσο έπρεπε και να παρέμειναν στο εσωτερικό του ποσότητες του απεσταγμένου νερού από το προηγούμενο πείραμα ή ακόμη να μην έκλεισε καλά ένα από τα δυο πώματα με αποτέλεσμα να εισέλθει αέρας στο εσωτερικό της διάταξης.

Πείραμα 3ο

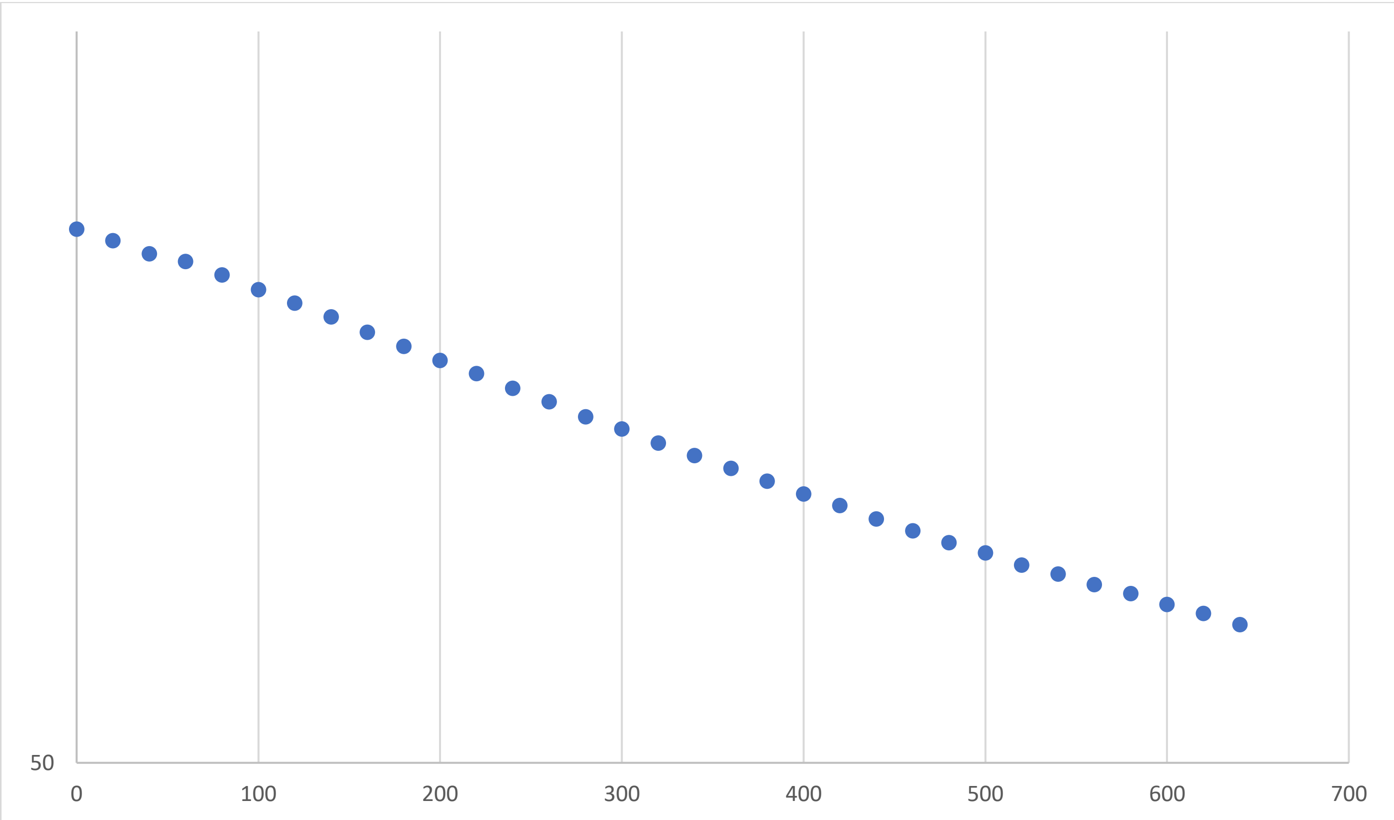
Τέλος με το 3ο και τελευταίο πείραμα έχουμε ως στόχο να βρούμε την ειδική θερμότητα του μόλυβδου χρησιμοποιώντας σφαιρίδια μόλυβδου. Η πραγματική τιμή της ειδικής θερμότητας του σε καθαρή μορφή είναι 20 φορές μικρότερη από της γλυκερίνης και ισούται με 130 $J/kg \cdot K$.

Ακολουθούμε ακριβός την ιδιά διαδικασία με το 2ο πείραμα (ανατρέξτε στο 2ο πείραμα σελ. 11) με την μονή διαφορά ότι δεν γεμίζουμε το δοχείο αλουμίνιου (1) με γλυκερίνη αλλά με σφαιρίδια μόλυβδού και ότι στο τέλος πάμε και επιλέγουμε στο Η/Υ να μας εμφανίζει τα δεδομένα ανά 5s και όχι 10s. Πριν σβήσουμε το δοχείο με το μικρό πώμα πάμε και ζυγίζουμε την μάζα του συνολικά ($m_{o\lambda} = 0.0636\ kg\ \kappa\alpha\iota\ m_2 = m_{o\lambda} - m_1 = 0.0636 - 0.017 = 0.0466\ kg \Rightarrow \boldsymbol{m_2 = 0.0466\ kg}$).

Τα πειραματικά δεδομένα του 3ου πειράματος (ανά 20s) αναπαρίστανται στον πίνακα 3 παρακάτω και ομοίως θα πρέπει να σχεδιάσουμε την γραφική παράσταση $\big(y \longrightarrow ln(\Theta - \Theta_\delta)\big) - (x \longrightarrow t)$ (Σχήμα 6) και μέσω της θεωρίας ελάχιστων τετραγώνων να βρούμε την ευθεία ελαχ. τετραγώνων της γραφικής.

α/α	θ(oC)	t(s)
1	82,9	0
2	82	20
3	81	40
4	80,4	60
5	79,4	80
6	78,3	100
7	77,3	120
8	76,3	140
9	75,2	160
10	74,2	180
11	73,2	200
12	72,3	220
13	71,3	240
14	70,4	260
15	69,4	280
16	68,6	300
17	67,7	320
18	66,9	340
19	66,1	360
20	65,3	380
21	64,5	400
22	63,8	420
23	63	440
24	62,3	460
25	61,6	480
26	61	500
27	60,3	520
28	59,8	540
29	59,2	560
30	58,7	580
31	58,1	600
32	57,6	620
33	57	640

Πίνακας 3



Σχήμα 6

n	Σ(ln(Θ-Θδ))	Σt	Σ(Ln(Θ-Θδ))*t)	Σt^2
130	500,1864777	41925	157331,8043	18097625

Πίνακας 3.3

Με όμοιο τρόπο σύμφωνα με την σχέση (1.6) και τον πίνακα 3.3 θα ισχύει ότι :

$$\alpha = \frac{n \cdot \sum(x_i \cdot y_i) - (\sum x_i) \cdot (\sum y_i)}{n \cdot \left(\sum {x_i}^2\right) - (\sum x_i)^2} = \frac{130 \cdot 157331{,}8043 - 41925 \cdot 500{,}1864777}{130 \cdot 18097625 - 41925^2} = -0.00086923699$$

$\Rightarrow \boldsymbol{\alpha = -0.00086923699}$

Ενώ σύμφωνα με την (1.7):

$$\beta = \frac{\sum {x_i}^2 \cdot \sum(y_i) - (\sum x_i) \cdot (\sum(x_i \cdot y_i)}{n \cdot (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} = \frac{18097625 \cdot 500{,}1864777 - 41925 \cdot 157331{,}8043}{130 \cdot 18097625 - 41925^2}$$

$= 4.12791722188 \ \Rightarrow \boldsymbol{\beta = 4.12791722188}$

Αντικαταστώντας σύμφωνα με τα θέτω που είχαμε κάνει παραπάνω θα ισχύει ότι:

$$\alpha = -\frac{\lambda_\pi}{\mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} + \mathrm{m_2} \cdot \mathrm{c_{2\pi}}} \Rightarrow \mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} + \mathrm{m_2} \cdot \mathrm{c_{2\pi}} = -\frac{\lambda_\pi}{\alpha} \Rightarrow \mathrm{m_2} \cdot \mathrm{c_{2\pi}} = -\mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} - \frac{\lambda_\pi}{\alpha}$$

$$\Rightarrow \mathrm{c}_{2\pi} = \frac{1}{\mathrm{m_2}}\left(-\mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} - \frac{\lambda_\pi}{\alpha}\right) = \frac{1}{0{,}0466}\left(-0{,}017 \cdot 895 - \frac{0{,}0401}{(-0.00086923699)}\right) = 663.463802787 \quad J/kg \cdot K$$

$$\Rightarrow \mathbf{c_{2\pi}} = \boldsymbol{663.463802787 \ \frac{J}{kg} \cdot K}$$

Με σφάλμα $\varepsilon_{c2\pi} = 663.463802787 - 130 \approx 533{,}4638 \Rightarrow \ \boldsymbol{\varepsilon_{c2\pi} \approx 533{,}4638}$

Από την άλλη εάν χρησιμοποιήσουμε την τιμή του λ για την εύρεση του c_2:

$$\mathrm{c_2} = \frac{1}{\mathrm{m_2}}\left(-\mathrm{m_1} \cdot \mathrm{c_1} - \frac{\lambda}{\alpha}\right) = \frac{1}{0{,}0466}\left(-0{,}017 \cdot 895 - \frac{0{,}04}{(-0.00086923699)}\right) = 660.995 \ \frac{J}{kg} \cdot K$$

$\Rightarrow \mathbf{c_2} = \boldsymbol{660.995 \ \ J/kg \cdot K}$

Με σφάλμα $\varepsilon_{c2} = 660.995 - 130 = 530{,}995 \Rightarrow \ \boldsymbol{\varepsilon_{c2} \approx 530{,}995}$

Το σφάλμα και στης δυο περιπτώσεις όπως παρατηρούμε είναι πολύ μεγάλο, εάν θεωρήσουμε ότι δεν έχει γίνει κάποιο λάθος στης μαθηματικές πράξεις, τότε και σε αυτό το πείραμα θα επηρέασε την τιμή της ειδικής θερμότητας του μόλυβδου ένας από τους λόγους που ειπώθηκαν και στο προηγούμενο πείραμα.

Συμπεράσματα

Στα παραπάνω πειράματα προσπαθήσαμε να βρούμε πειραματικά την ειδική θερμότητα διάφορων υλικών. Οι πειραματικές τιμές που βρήκαμε προσέγγιζαν τησ πραγματικές σε ικανοποιητικό βαθμό. Παρο'λαυτα για να προσέγγιζαν ακόμη πιο πολύ της πραγματικές τιμές θα έπρεπε να προσέχαμε πολύ παραπάνω στην εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας ώστε να μειώναμε όσο το δυνατόν περισσότερο οτιδήποτε μπορούσε τελικά να επηρεάσει της πειραματικές τιμές.