

ΑΣΚΗΣΗ 5^η

*Ψύξη συστήματος σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας
και μέτρηση της ειδικής θερμότητας*

Μελέτη – ανασύνθεση: Χ. Πολάτογλου, Δ. Ευαγγελινός
Πρώτη προσαρμογή σε Η/Υ: Ι. Σαμαράς

ΨΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1. Σκοπός της άσκησης

Να παρατηρηθεί πειραματικά μια θερμοδυναμική μεταβολή, να επαληθευθεί ο νόμος που την εκφράζει και να προσδιοριστεί η ειδική θερμότητα υλικών αγνώστου θερμοχωρητικότητας.

2. Εισαγωγή: Θέρμανση και ψύξη

Στην καθημερινή μας ζωή συναντάμε συνεχώς φαινόμενα ψύξης και θέρμανσης, είτε στο μακροσκοπικό (π.χ. Γη-Ήλιος, χειμώνας-καλοκαίρι) είτε στο ανθρωπομετρικό περιβάλλον (π.χ. οικιακή θέρμανση, θερμομόνωση, μαγείρεμα, ρουχισμός). Επειδή τα συστήματα αυτά συνήθως είναι ανοικτά από θερμοδυναμική άποψη, συνήθως ενδιαφερόμαστε περισσότερο για την αρχική και τελική τους κατάσταση, δηλαδή την θερμοκρασία τους, παρά για τους τρόπους με τον οποίους γίνονται οι θερμοδυναμικές μεταβολές (τα μικροσκοπικά φαινόμενα), την ταχύτητα αυτών των μεταβολών, καθώς και τα ποσά θερμότητας που απαιτούνται.

Για παράδειγμα, μία από τις απλούστερες καθημερινές διαδικασίες θέρμανσης είναι η θέρμανση του νερού για τον πρωινό μας καφέ., Γνωρίζουμε εμπειρικά ότι αν η εστία που χρησιμοποιούμε έχει διαβαθμίσεις ισχύος (π.χ. “1”, “2”, “3”), τότε στην θέση μεγαλύτερης ισχύος το νερό θα βράσει πιο γρήγορα. Άλλοι δευτερεύοντες παράγοντες οι οποίοι θα επιδρούσαν στην *ταχύτητα του βρασμού* είναι το μέγεθος και το υλικό του δοχείου, το αν σκεπάσουμε ή όχι το δοχείο, το είδος της θερμαντικής εστίας (ηλεκτρική, γκάζι, βραστήρας) και ενδεχομένως η αρχική θερμοκρασία του νερού. Κατά την θέρμανση του νερού, μας ενδιαφέρει κυρίως να θερμανθεί το νερό το συντομότερο δυνατόν αλλά δεν μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα ο *ρυθμός θέρμανσης*: μας αρκεί ότι το νερό θα φτάσει την επιθυμητή θερμοκρασία.

Αντίστροφα τώρα, μετά την παρασκευή του καφέ, αυτός σταδιακά θα αρχίσει να κρυώνει. Γνωρίζουμε εμπειρικά ότι ανάλογα με το υλικό του δοχείου, την ποσότητα του καφέ, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ενδεχομένως άλλους παράγοντες, ο καφές θα παραμείνει ζεστός για μεγαλύτερο ή μικρότερο χρονικό διάστημα. Κατά την ψύξη του καφέ, μας ενδιαφέρει να παραμείνει ζεστός αλλά δεν μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα ο *ρυθμός ψύξης* του.

Υποθέστε τώρα ότι διαθέτετε ένα θερμόμετρο που σας επιτρέπει να μελετήσετε πειραματικά την θέρμανση μιας ποσότητας νερού επάνω σε μια ηλεκτρική εστία. Η μάζα του νερού, η μάζα του δοχείου, η ηλεκτρική ισχύς της εστίας και η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι όλα γνωστά. Τοποθετείτε το δοχείο με το νερό στην εστία, στηρίζετε κατάλληλα το θερμόμετρο, και αρχίζετε μετρήσεις θερμοκρασίας ανά ένα λεπτό ξεκινώντας την χρονική στιγμή $t_0 = 0$ κατά την οποία ανάβετε την εστία. Μπορείτε να προβλέψετε την *καμπύλη θέρμανσης* του νερού, δηλαδή την *μορφή* της γραφικής παράστασης $\theta - t$ που θα προκύψει; Περιμένετε να είναι γραμμική, εκθετική, λογαριθμική, παραβολική ή κάποιας άλλης μορφής καμπύλη; Ποιους νόμους της θερμότητας και της θερμομετρίας θα εφαρμόσετε; Από ποιους παράγοντες πιστεύετε ότι εξαρτάται η ταχύτητα θέρμανσης του νερού;

Αντίστοιχα, αν χρησιμοποιήσετε το θερμόμετρο για να μελετήσετε την *ψύξη* του καφέ, ποια περιμένετε ότι θα είναι η *καμπύλη ψύξης*, δηλαδή η μορφή της γραφικής παράστασης $\theta - t$ στην περίπτωση αυτή; Ποιους νόμους της θερμότητας και της θερμομετρίας θα εφαρμόσετε

στην περίπτωση αυτή; Από ποιους παράγοντες πιστεύετε ότι εξαρτάται η ταχύτητα ψύξης του καφέ στο παράδειγμά μας;

Στην παρούσα άσκηση θα μελετήσουμε το φαινόμενο της ψύξης, γιατί μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε με έναν απλό και σχετικά αξιόπιστο τρόπο την ειδική θερμότητα ενός σώματος. Σημειωτέον ότι το πείραμα που θα εκτελέσουμε θα μπορούσατε κάλλιστα να το πραγματοποιήσετε και στο σπίτι σας, με την προϋπόθεση ότι γνωρίζετε όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο, ούτως ώστε να δημιουργήσετε τις απαραίτητες ελεγχόμενες πειραματικές συνθήκες.

3. Θεωρητική εισαγωγή

Ο σκοπός της άσκησης είναι να βρούμε πειραματικά την ειδική θερμότητα διαφόρων υλικών. Στην θερμοδυναμική η θερμοχωρητικότητα C και η ειδική θερμότητα c ορίζονται ανάλογα με το αν η πίεση ή ο όγκος παραμένουν σταθερά. Έτσι ορίζονται αντίστοιχα τα μεγέθη c_p , c_v , C_p , C_v . Επειδή στην άσκησή μας η πίεση παραμένει σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική, χρησιμοποιούμε τους ακόλουθους ορισμούς (Κυριάκος & Μπλέρης, σελ. 65), έχοντας πάντοτε υπόψη μας ότι πρόκειται για μεγέθη υπό σταθερή πίεση:

Θερμοχωρητικότητα C ενός σώματος ονομάζεται το πηλίκο του ποσού θερμότητας dQ που προσφέρουμε σε ένα σώμα για να προκαλέσουμε μεταβολή της θερμοκρασίας του κατά dT προς τη μεταβολή dT , δηλαδή

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (1)$$

Εκφράζεται σε J/K.

Ειδική θερμότητα c ενός υλικού ονομάζεται η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} \quad (2)$$

Εκφράζεται σε J/kg·K.

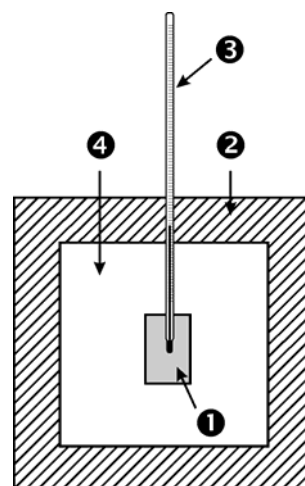
Η ειδική θερμότητα ορίζεται στην πράξη και σαν το ποσό θερμότητας το οποίο απαιτείται για να μεταβληθεί η θερμοκρασία 1 kg υλικού κατά 1 βαθμό Κέλβιν.

Για να προσδιορίσουμε την ειδική θερμότητα ενός σώματος πρέπει να το φέρουμε σε θερμική αλληλεπίδραση με ένα άλλο σώμα και να μελετήσουμε την θερμοδυναμική μεταβολή που θα επέλθει. Για τη μελέτη αυτή είναι απαραίτητο πρώτα να ορίσουμε την έννοια του *θερμοδυναμικού συστήματος*.

Στην θερμοδυναμική το τμήμα του περιβάλλοντος του οποίου την συμπεριφορά ενδιαφερόμαστε να μελετήσουμε ονομάζεται *σύστημα*. Ας θεωρήσουμε λοιπόν σαν σύστημα ένα σώμα το οποίο βρίσκεται σε θερμική αλληλεπίδραση, με ένα άλλο σύστημα το οποίο θα ονομάσουμε *δεξαμενή θερμότητας* για λόγους που θα αναφέρουμε παρακάτω. Θεωρούμε πως το κάθε σύστημα μπορεί ανεξάρτητα να μεταβάλλει τον όγκο του και ότι η πίεσή του είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση, η οποία για την διάρκεια της άσκησης μπορεί να θεωρηθεί σταθερή.

Σχήμα 1: Δύο συστήματα σε θερμική αλληλεπίδραση.

1. Σύστημα 1: σύστημα υπό μελέτη
2. Σύστημα 2: δεξαμενή θερμότητας
3. Θερμόμετρο
4. Χώρος σταθερής θερμοκρασίας



Ονομάζουμε την θερμοκρασία που έχει η δεξαμενή θερμότητας θ_δ και την θερμοκρασία του Συστήματος με θ . Επίσης αν ορίσουμε

$$\Theta = \theta - \theta_\delta \quad (3)$$

τότε στην κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας θα είναι $\theta = \theta_\delta$ οπότε

$$\Theta = 0 \quad (4)$$

Αν τα δύο συστήματα έχουν διαφορετική θερμοκρασία, τότε δεν βρίσκονται σε *θερμοδυναμική ισορροπία*. Η κατάσταση τους θα αλλάξει μέχρις ότου φτάσουν στην κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας, δηλ. αποκτήσουν ίδιες θερμοκρασίες.

Υποθέτοντας ότι αρχικά το υπό μελέτη σύστημα έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από την δεξαμενή θερμότητας, η κατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας θα επιτευχθεί με το να μεταφερθεί ενέργεια από το σύστημα στη δεξαμενή. Από την θερμοδυναμική γνωρίζουμε ότι υπάρχουν δύο κυρίως τρόποι μεταφοράς θερμότητας (Κυριάκος & Μπλέρης, σελ. 68). Ο πρώτος είναι με την βοήθεια υλικού φορέα, και ο δεύτερος χωρίς υλικό φορέα. Στην περίπτωση του υλικού φορέα υπάρχουν δύο δυνατότητες: η μία είναι να μεταφέρεται ο υλικός φορέας (διάδοση θερμότητας με μεταφορά ή με ρεύματα αέρα), και η άλλη να έχουμε αγωγή θερμότητας μέσα από τον υλικό φορέα (με αγωγή). Στην περίπτωση μεταφοράς θερμότητας χωρίς συμμετοχή υλικού φορέα, μιλάμε για μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία.

Στο σύστημά μας η ενέργεια μεταφέρεται με την μορφή θερμότητας και έργου. Επειδή το σύστημα και η δεξαμενή θερμότητας αποτελούνται από στερεά και υγρά σώματα και η πίεσή τους είναι σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική, η ενέργεια η οποία μεταφέρεται με την μορφή έργου είναι αμελητέα σε σύγκριση με την θερμότητα. Η μεταφορά ενέργειας από το σύστημα στο περιβάλλον (από το σώμα στην δεξαμενή θερμότητας) έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας του συστήματος και την αύξηση της θερμοκρασίας της δεξαμενής. Έτσι, για μεταφορά θερμότητας dQ από το Σύστημα στην δεξαμενή θα έχουμε μια αντίστοιχη μεταβολή της θερμοκρασίας του Συστήματος κατά $d\theta$. Στην περίπτωση αυτή ισχύει $dQ < 0$ γιατί το σύστημα *χάνει ενέργεια*. Αντίστοιχα, επειδή η δεξαμενή προσέλαβε ποσό θερμότητας $dQ > 0$, η θερμοκρασία της μεταβάλλεται κατά $d\theta_\delta$.

Αν συμβολίσουμε με K και K_δ τις θερμοχωρητικότητες του Συστήματος και της δεξαμενής αντίστοιχα, οι δύο παραπάνω μεταβολές σχετίζονται με την εξίσωση θερμοδομετρίας (Κυριάκος & Μπλέρης, σελ. 66):

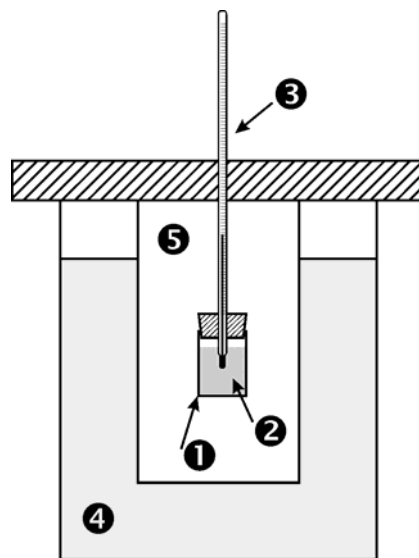
$$dQ = K \cdot d\theta = -K_{\delta} \cdot d\theta_{\delta} \quad (5)$$

Αν τώρα διαλέξουμε $K_{\delta} \gg K$ (το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι επιλέγουμε μια δεξαμενή θερμότητας πολύ μεγαλύτερης μάζας από αυτή του Συστήματος), τότε θα είναι και $d\theta_{\delta} \ll d\theta$, δηλαδή η θερμοκρασία της δεξαμενής θερμότητας μεταβάλλεται πολύ λίγο σε σύγκριση με αυτή του Συστήματος. Αυτός είναι και ο λόγος που δώσαμε το όνομα *δεξαμενή θερμότητας* στο δεύτερο σύστημα.

Εδώ πρέπει να πούμε πως το δεύτερο σύστημα συμπεριφέρεται σαν δεξαμενή θερμότητας για όλα τα συστήματα για τα οποία $K_{\delta} \gg K$. Υπό την προϋπόθεση αυτή, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η θερμοκρασία της δεξαμενής θ_{δ} παραμένει σταθερή, και κατά συνέπεια ότι

$$d\Theta = d(\theta - \theta_{\delta}) = d\theta \quad \text{και} \quad d\theta_{\delta} = 0 \quad (6)$$

Στην συγκεκριμένη μας άσκηση το πρώτο Σύστημα είναι ένα μικρό κυλινδρικό δοχείο από αλουμίνιο το οποίο περιέχει μία ουσία π.χ. νερό (βλέπε Σχήμα 2). Στα επόμενα, με **Σύστημα** (με κεφαλαίο Σ) θα εννοούμε το συγκεκριμένο δοχείο και το περιεχόμενό του. Με κατάλληλο θερμόμετρο μπορούμε να γνωρίζουμε κάθε στιγμή την θερμοκρασία του Συστήματος, υποθέτοντας ότι δοχείο και η περιεχόμενη ουσία βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Το Σύστημά μας δηλαδή αποτελείται από δύο *φάσεις*: η μία φάση είναι το αλουμίνιο (*Al*) από το οποίο είναι φτιαγμένο το δοχείο και η άλλη είναι η ουσία που περιέχεται σ' αυτό (π.χ. νερό, μόλυβδος, γλυκερίνη, υλικό με άγνωστη ειδική θερμότητα). Στην όλη εξέταση του θέματος θεωρούμε πως δεν έχουμε κανένα μετασχηματισμό φάσης π.χ. εξάτμιση του νερού. (Αργότερα θα δούμε πειραματικά τι επίδραση μπορεί να έχει η εξάτμιση του νερού στα αποτελέσματα της άσκησης). Σαν δεύτερο σύστημα θεωρούμε μία δεξαμενή θερμότητας η οποία υλοποιείται από ένα δοχείο γεμάτο με νερό μέσα στο οποίο υλοποιείται ένας χώρος σταθερής θερμοκρασίας (βλέπε Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Το Σύστημα δύο φάσεων της άσκησης σε θερμική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον του.

1. Δοχείο αλουμινίου
2. Ουσία υπό μελέτη
3. Θερμόμετρο
4. Δεξαμενή θερμότητας
5. Χώρος σταθερής θερμοκρασίας

Εφόσον το Σύστημα αποτελείται από το δοχείο και το περιεχόμενό του, δηλαδή δύο ουσίες με μάζες m_1 και m_2 και αντίστοιχες ειδικές θερμότητες c_1 και c_2 μπορούμε να γράψουμε:

$$K = m_1 c_1 + m_2 c_2 \quad (7)$$

Και άρα:

$$dQ = (m_1c_1 + m_2c_2) \cdot d\theta \quad (8)$$

ή
$$dQ = (m_1c_1 + m_2c_2) \cdot d\Theta \quad (9)$$

Η σχέση (9) εκφράζει το ποσό θερμότητας που απαιτείται για την μεταβολή της θερμοκρασίας του Συστήματος.

Ο νόμος του Νεύτωνα για την ψύξη, που διατυπώθηκε από τον Νεύτωνα, αφορά την ταχύτητα με την οποία ανταλλάσσεται η θερμότητα ενός σώματος με το περιβάλλον του:

Όταν ένα σώμα έρχεται σε αλληλεπίδραση με περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας και η θερμοκρασία του διαφέρει κατά Θ από αυτήν του περιβάλλοντος, τότε η ταχύτητα με την οποία μεταφέρεται θερμότητα από το σώμα στο περιβάλλον είναι ανάλογη της Θ .

Μαθηματικά ο νόμος εκφράζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \Theta \quad (10)$$

όπου λ είναι η σταθερά της αναλογίας.

Στην περίπτωσή μας η θερμότητα μεταφέρεται με δύο τρόπους, μέσω των μορίων του αέρα και με ακτινοβολία, διότι δεν έχουμε άμεση επαφή του σώματος με το περιβάλλον του (την δεξαμενή). Η τιμή της λ εξαρτάται από το πόσο συνεισφέρει ο κάθε τρόπος και γενικά από την γεωμετρία και την φύση των επιφανειών του σώματος και του περιβάλλοντος.

Αν αντικαταστήσουμε το dQ από την (9) στην (10), τότε προκύπτει η ακόλουθη διαφορική εξίσωση:

$$\frac{d\Theta}{dt} = - \left[\frac{\lambda}{m_1c_1 + m_2c_2} \right] \Theta \quad (11)$$

της οποίας η λύση είναι:

$$\Theta = \Theta_0 e^{-\frac{\lambda}{m_1c_1 + m_2c_2} \cdot t} \quad (12)$$

ή
$$(\theta - \theta_\delta) = (\theta_0 - \theta_\delta) e^{-\frac{\lambda}{m_1c_1 + m_2c_2} \cdot t} \quad (13)$$

όπου $\Theta_0 = \theta_0 - \theta_\delta$ δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας του συστήματος και του περιβάλλοντος για $t = 0$.

Να σημειώσουμε ότι στα παραπάνω υποθέσαμε ότι οι ειδικές θερμότητες των σωμάτων είναι ανεξάρτητες της θερμοκρασίας, πράγμα που δεν ισχύει γενικά.

4. Μεθοδολογία της άσκησης

Έστω ότι το Σύστημα αποτελείται από δοχείο αλουμινίου μάζας m_1 και ειδικής θερμότητας c_1 που περιέχει μάζα m_2 ουσίας με άγνωστη τιμή ειδικής θερμότητας c_2 . Έστω επίσης ότι μελετήσαμε την ψύξη του συστήματος από θερμοκρασία θ_2 σε θερμοκρασία θ_1 υπό σταθερή θερμοκρασία δεξαμενής θ_δ και ότι έχουμε διαθέσιμο έναν πίνακα μετρήσεων χρόνου – θερμοκρασίας.

Η επεξεργασία των μετρήσεων αυτών θα απαιτούσε να μετατρέψουμε την (12) σε ευθεία της μορφής $Y = \beta + \alpha X$ θέτοντας $X \rightarrow t$ και $Y \rightarrow \ln \Theta$

$$\ln \Theta = \ln \Theta_0 - \frac{\lambda}{m_1 c_1 + m_2 c_2} \cdot t \quad (14)$$

Παρατηρούμε ότι στην (14) έχουμε δύο άγνωστες ποσότητες, λ και c_2 , οι οποίες μάλιστα περιέχονται στον ίδιο συντελεστή α της ευθείας $Y = \alpha X + \beta$. Άρα από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τους αγνώστους, ειδικότερα την ειδική θερμότητα c_2 .

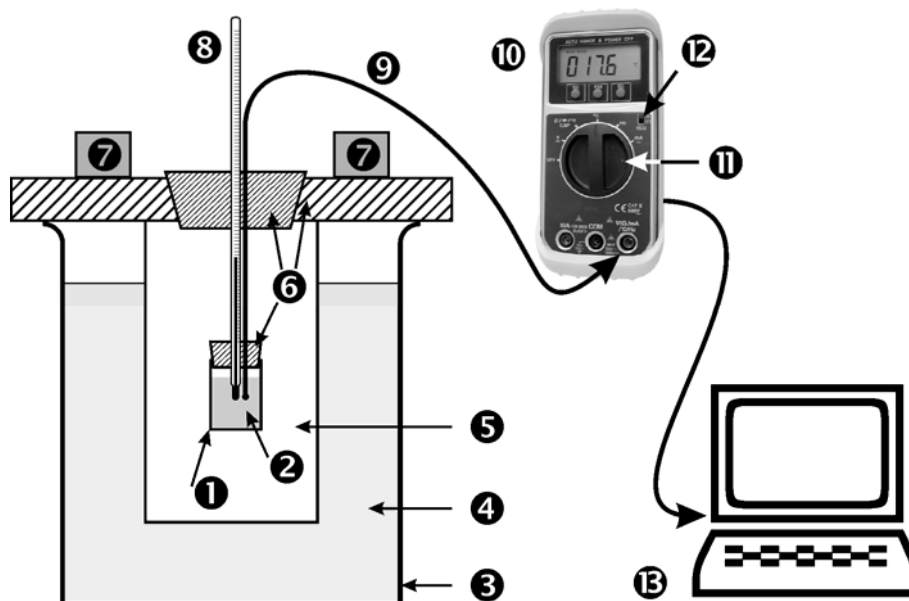
Υπάρχουν δύο τρόποι να προσδιοριστεί ο συντελεστής λ : ο ένας είναι να τον υπολογίσουμε ανατρέχοντας στην θεωρία της διάδοσης θερμότητας, πράγμα επίπονο, και ο δεύτερος, τον οποίο θα ακολουθήσουμε στην άσκηση αυτή, να τον προσδιορίσουμε πειραματικά. Πράγματι, όπως είναι φανερό από την σχέση (6), αν γνωρίζαμε την c_2 θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε και το λ . Εκτελώντας λοιπόν το πείραμα μια φορά χρησιμοποιώντας μια ουσία γνωστής ειδικής θερμότητας, μπορούμε να προσδιορίσουμε τον συντελεστή λ . Στην συνέχεια, έχοντας γνωστό το λ , και τοποθετώντας στο δοχείο την άγνωστη ουσία, μπορούμε να υπολογίσουμε πάλι από την (12) ή την (14) την άγνωστη ειδική θερμότητα c_2 .

Το σκεπτικό μας είναι ισοδύναμο με αυτό που ακολουθείται για την λύση ενός συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Οι δύο αυτές εξισώσεις είναι η (12) γραμμένη δύο φορές, την μία για την άγνωστη ουσία και την άλλη για την γνωστή, από τις οποίες απαλείφεται η λ , διότι παραμένει σταθερή στα δύο πειράματα (θυμηθείτε από τι εξαρτάται η λ). Συμπερασματικά, στην άσκηση ακολουθείται η μέθοδος σύγκρισης στην οποία ο τρόπος με τον οποίο ψύχεται η άγνωστη ουσία συγκρίνεται με τον τρόπο με τον οποίο ψύχεται η γνωστή. Σαν γνωστή ουσία θα χρησιμοποιήσουμε το απεσταγμένο νερό, του οποίου η ειδική θερμότητα ισούται με 4186 J/kg·K.

5. Η Πειραματική διάταξη

Για την μελέτη του νόμου ψύξης του Νεύτωνα χρειαζόμαστε (βλ. Σχήματα 3 και 4):

- A) Μια δεξαμενή θερμότητας στην οποία ψύχεται το Σύστημα. Αποτελείται από ένα ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο γεμάτο με νερό, και άρα ιδιαίτερα μεγάλης θερμοχωρητικότητας. Με την χρήση ενός ειδικού καλύμματος δημιουργείται ένας στεγανός χώρος σταθερής θερμοκρασίας. (Για ποιο λόγο χρησιμοποιείται νερό και όχι ένα μονωτικό π.χ. υαλοβάμβακας;)
- B) Μια διάταξη θέρμανσης του Συστήματος. Αποτελείται από μια ηλεκτρική εστία, ένα δοχείο ζέσεως Pyrex και ένα σύστημα στήριξης του Συστήματος. Ο τρόπος στήριξης βασίζεται στο υδραργυρικό θερμόμετρο το οποίο συγκρατεί το θερμομονωτικό πώμα του δοχείου αλουμινίου και ένα μεγαλύτερο πώμα το οποίο εφαρμόζει στο πάνω μέρος του χώρου σταθερής θερμοκρασίας (βλέπε Σχήμα 3). Με τη βοήθεια μιας μεταλλικής πλάκας που φέρει μια σχισμή, το Σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί στο δοχείο ζέσεως με τρόπο που να μην ακουμπά στον πάτο του. Το δοχείο ζέσεως πρέπει να περιέχει την κατάλληλη ποσότητα νερού ώστε το Σύστημα να βυθίζεται μόνο κατά το $\frac{1}{2}$ μέσα σε αυτό (βλέπε Σχήμα 4β).



Σχήμα 3: Η διάταξη μελέτης του νόμου ψύξης του Νεύτωνα.

<i>Το Σύστημα:</i>	1. Δοχείο αλουμινίου
	2. Ουσία υπό μελέτη
<i>Η δεξαμενή θερμότητας:</i>	3. Ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο
	4. Νερό
	5. Χώρος σταθερής θερμοκρασίας
	6. Πώματα από θερμομονωτικό υλικό
	7. Βαρίδια
<i>Το σύστημα μέτρησης και καταγραφής:</i>	8. Υδραργυρικό θερμομέτρο
	9. Θερμοηλεκτρικό στοιχείο (θερμοζεύγος)
	10. Ψηφιακό πολύμετρο
	11. Επιλογέας ψηφιακού πολυμέτρου
	12. ON–OFF διακόπτης σειριακού διαύλου
	13. Η/Υ

- Γ) Ένα σύστημα μέτρησης της θερμοκρασίας. Ενδεικτικές τιμές θερμοκρασίας λαμβάνονται με ένα υδραργυρικό θερμομέτρο, το οποίο συγχρόνως χρησιμοποιείται και για την στήριξη του Συστήματος μέσα στην δεξαμενή. Για την λήψη μετρήσεων χρησιμοποιείται ένα θερμοηλεκτρικό στοιχείο (θερμοζεύγος) συνδεδεμένο με ψηφιακό πολύμετρο στην κατάλληλη θέση του επιλογέας λειτουργίας του. Οι μετρήσεις που προέρχονται από τον συνδυασμό θερμοζεύγους-πολυμέτρου έχουν διακριτική ικανότητα $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, όσο δηλαδή και οι μετρήσεις του υδραργυρικού θερμομέτρου.
- Δ) Ένα σύστημα καταγραφής και αποθήκευσης των μετρήσεων. Το πείραμά μας απαιτεί να καταγραφούν οι τιμές θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου. Αυτό μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα (χαρτί και μολύβι), είτε αυτόματα, αν το όργανο μέτρησης της θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται διαθέτει τέτοια δυνατότητα. Στην περίπτωση μας, το ψηφιακό πολύμετρο διαθέτει σειριακή έξοδο η οποία συνδέεται με την σειριακή θύρα ενός υπολογιστή (Η/Υ). Ο Η/Υ μέσω κατάλληλου προγράμματος λήψης δεδομένων (Data Logger) λαμβάνει τα δεδομένα (χρόνος και θερμοκρασία) από το πολύμετρο τα οποία ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει στον σκληρό δίσκο ή σε δισκέτα. Στο Παράρτημα της άσκησης περιγράφεται η λειτουργία και ρύθμιση του πολυμέτρου και του προγράμματος.



Σχήμα 4: α) Συναρμολόγηση του Συστήματος.

β) Η διάταξη θέρμανσης του συστήματος που αποτελείται από την Εστία θέρμανσης (1), το Δοχείο ζέσεως (2) και την Μεταλλική πλάκα στήριξης με σχισμή (3). Προσέξτε ότι το νερό στο γυάλινο δοχείο ζέσεως να καλύπτει μόνο το κάτω μισό του δοχείου αλουμινίου ή και λιγότερο.

Ε) Ένα σύστημα επεξεργασίας των μετρήσεων. Οι αποθηκευμένες στον Η/Υ μετρήσεις μπορούν πλέον να επεξεργαστούν με ένα πρόγραμμα γραφικής και στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων όπως το Libre Office Calc, το Microsoft Excel, το Origin ή ακόμα και το Mathematica. Στο Παράρτημα της άσκησης περιγράφεται η επεξεργασία με το Excel (το οποίο και συνήθως είναι διαθέσιμο σε κάθε υπολογιστή), αλλά βέβαια εσείς μπορείτε να χρησιμοποιήσετε οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα έχετε διαθέσιμο.

6. Πειραματικό μέρος

Η άσκηση χωρίζεται σε τρία μέρη:

Μέρος 1: Παρατήρηση του φαινομένου της ψύξης, επαλήθευση του νόμου του Νεύτωνα και προσδιορισμός της σταθεράς λ . Κύριος στόχος είναι να προσδιοριστεί η άγνωστη σταθερά λ του Συστήματος. Ως ουσία αναφοράς χρησιμοποιείται το απεσταγμένο νερό το οποίο έχει ειδική θερμότητα ίση με $c_2 = 4186 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, ενώ δίδεται ότι το δοχείο αλουμινίου έχει ειδική θερμότητα ίση με $c_{Al} = 895 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.


Μέρος 2: Προσδιορισμός της ειδικής θερμότητας υλικών. Στο μέρος αυτό ως υλικά άγνωστης ειδικής θερμότητας χρησιμοποιούνται η γλυκερίνη (υγρό) και ο μόλυβδος (στερεό σε σφαιρίδια). Με την μέθοδο αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και οποιαδήποτε άλλη ουσία, είτε σε υγρή μορφή είτε σε μορφή σκόνης/σφαιριδίων, αρκεί αυτή να θερμαίνεται άμεσα από το δοχείο αλουμινίου, να βρίσκεται σε άμεση επαφή με το θερμοζεύγος και το υδραργυρικό θερμομέτρο, και να μην υφίσταται μετατροπή φάσης κατά την πειραματική διαδικασία.

Μέρος 3: Μελέτη της πειραματικής διαδικασίας. Διερευνάται η επίδραση διαφόρων κατασκευαστικών/χειριστικών παραγόντων οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν το φαινόμενο της ψύξης και άρα να επηρεάσουν την προσδιοριζόμενη τιμή της ειδικής θερμότητας.

6.0 Προετοιμασία

Πριν την εκτέλεση της άσκησης, πρέπει να προετοιμαστεί η πειραματική διάταξη, και συγκεκριμένα πρέπει να ετοιμάσετε την δεξαμενή θερμότητας, να συναρμολογήσετε το Σύστημα και να προετοιμάσετε το σύστημα καταγραφής.

6.0.1 Προετοιμασία της πειραματικής διάταξης

- Γεμίστε την δεξαμενή θερμότητας κατά τα 2/3 με νερό της βρύσης (ή μέχρι την γραμμή που βρίσκεται στο εσωτερικό της). Τοποθετήστε το καπάκι και ασφαλίστε το με τα κυλινδρικά βαρίδια όπως στο Σχήμα (3).
- Συναρμολογήστε το Σύστημα δοχείου αλουμινίου όπως στο Σχήμα (4α): Περάστε προσεκτικά και με μικρές περιστροφικές κινήσεις το υδραργυρικό θερμόμετρο μέσα από τις κεντρικές τρύπες του μεγάλου πώματος (το οποίο θα εφαρμόσει στη συνέχεια στο άνοιγμα του χώρου σταθερής θερμοκρασίας της δεξαμενής) και του μικρού πώματος (που εφαρμόζει στο δοχείο αλουμινίου).
- Βεβαιωθείτε ότι ο περιστροφικός διακόπτης του πολυμέτρου (επιλογέας) (“11” στο Σχήμα 3) βρίσκεται στην θέση **OFF**. Συνδέστε το θερμοζεύγος στο πολύμετρο (προσοχή στην πολικότητα!). Γυρίστε τον περιστροφικό διακόπτη του πολυμέτρου στην θέση $^{\circ}\text{C}$. Το πολύμετρο πρέπει να δείχνει την θερμοκρασία περιβάλλοντος, ενώ στην οθόνη του δεν πρέπει να υπάρχει ένδειξη χαμηλής στάθμης μπαταρίας  (στην περίπτωση αυτή ενημερώστε τον διδάσκοντα). Συγκρίνατε την θερμοκρασία του περιβάλλοντος που μόλις μετρήσατε με αυτή που δείχνει το υδραργυρικό θερμόμετρο, αφού το βγάλετε από την θήκη του.
- Εξοικειωθείτε με την συμπεριφορά των μετρήσεων με το θερμοζεύγος και παρατηρείστε την μεταβολή της ένδειξής του όταν το θερμαίνετε με τα δάχτυλά σας και στη συνέχεια το αφήνετε να ψυχθεί.
- Μετρείστε με το υδραργυρικό θερμόμετρο και με το θερμοζεύγος την θερμοκρασία του χώρου σταθερής θερμοκρασίας μέσα στην δεξαμενή θερμότητας (και όχι μέσα στην δεξαμενή νερού !) και σημειώστε την. Αυτή αποτελεί και την θερμοκρασία δεξαμενής θ_{δ} την οποία θα θεωρήσετε σταθερή και θα χρησιμοποιήσετε στην συνέχεια της άσκησης.
- Γυρίστε τον επιλογέα του πολυμέτρου στην θέση **OFF** και περάστε την ελεύθερη άκρη του θερμοζεύγους από τις μικρές τρύπες των δύο πωμάτων, ούτως ώστε η άκρη του θερμοζεύγους να καταλήγει παράλληλα και στο ίδιο επίπεδο με το άκρο του υδραργυρικού θερμομέτρου, όπως στο Σχήμα (4α).

6.0.2 Προετοιμασία του υπολογιστή

- Ανοίξτε τον υπολογιστή, την οθόνη του, και τον εκτυπωτή (ο εκτυπωτής θα χρειαστεί στο τέλος της άσκησης για την εκτύπωση γραφικών παραστάσεων).
- Επιβεβαιώστε ότι το πολύμετρο είναι συνδεδεμένο με τον υπολογιστή και ότι ο διακόπτης “RS232” που ελέγχει τη αποστολή δεδομένων από το πολύμετρο προς τον υπολογιστή βρίσκεται στην θέση **ON** (“11” στο Σχήμα 3).

- Τρέξτε το πρόγραμμα μετρήσεων **Data Logger** το οποίο βλέπετε στην επιφάνεια εργασίας. Πατήστε το πλήκτρο ελέγχου **Begin**. Πρέπει το πρόγραμμα να δείχνει την ίδια θερμοκρασία με αυτή που δείχνει το πολύμετρο. (Σημείωση: Το πολύμετρο έχει διακριτική ικανότητα ενός δεκάτου του βαθμού Κελσίου, ενώ το πρόγραμμα δείχνει την θερμοκρασία με ένα επιπλέον μηδέν σαν δεύτερο δεκαδικό ψηφίο. Το δεύτερο αυτό ψηφίο είναι πλασματικό και πρέπει να το αγνοήσετε). Πατήστε το πλήκτρο ελέγχου **Stop**.

6.1 Εκτέλεση της άσκησης

Η άσκηση περιλαμβάνει τέσσερα ανεξάρτητα πειράματα. Το πρώτο (Μέρος 1) έχει σαν σκοπό τον πειραματικό προσδιορισμό της σταθεράς λ , ενώ τα δύο (Μέρος 2) επόμενα τον προσδιορισμό της ειδικής θερμότητας της γλυκερίνης και του μολύβδου. Το τέταρτο πείραμα (Μέρος 3) αποτελεί πείραμα ποιοτικής διερεύνησης της πειραματικής διαδικασίας. Μεταξύ των ανεξαρτήτων πειραμάτων θα χρειαστεί να κάνετε ορισμένους προσεγγιστικούς υπολογισμούς.

6.1.1 ΜΕΡΟΣ 1: Προσδιορισμός της σταθεράς λ

Στο πρώτο αυτό μέρος θα εκτελέσετε το πρώτο πείραμα ψύξης, στο οποίο το Σύστημα αποτελείται από το δοχείο αλουμινίου και ποσότητα απεσταγμένου νερού. Το Σύστημα θα θερμανθεί με ήπιο τρόπο με την διάταξη θέρμανσης (Σχήμα 4β), και στη συνέχεια θα τοποθετηθεί στην δεξαμενή θερμότητας για να ψυχθεί σύμφωνα με τον νόμο της ψύξης (Σχήμα 3). Κατά την έναρξη της ψύξης η θερμοκρασία του Συστήματος πρέπει να είναι μεταξύ 80-85 °C, δηλαδή αρκετά υψηλή ώστε να πάρουμε αρκετές μετρήσεις, αλλά και χωρίς να διακινδυνεύουμε φαινόμενα εξάτμισης του απεσταγμένου νερού, τα οποία αρχίζουν από τους 90 °C. Οι μετρήσεις μπορούν να σταματήσουν σε τελική θερμοκρασία Συστήματος μεταξύ 55-50 °C, ανάλογα με το ποια ήταν η αρχική του θερμοκρασία αντιστοίχως.

6.1.1.A Πείραμα 1: Ψύξη απεσταγμένου νερού

- Μέτρηση των μαζών. Ζυγίζετε το άδειο δοχείο αλουμινίου με την βοήθεια της ζυγαριάς που βρίσκεται στον πάγκο των υλικών, το γεμίζετε κατά τα 2/3 με απεσταγμένο νερό και το ξαναζυγίζετε. Προφανώς η διαφορά των δύο μετρήσεων σας δίνει την μάζα του περιεχομένου. Συμπληρώστε τις μετρήσεις σας στον παρακάτω πίνακα:

Μάζα άδειου δοχείου (απόβαρο)	$m_1 =$	kg
Μάζα δοχείου + απεσταγμένο νερό	$m_1 + m_2 =$	kg
Μάζα απεσταγμένου νερού	$m_2 =$	kg

- Προετοιμασία της διάταξης θέρμανσης. Προσαρμόζετε το δοχείο αλουμινίου στο σύστημα θερμομέτρου-θερμοζεύγους (Σχήμα 4α). Τοποθετείτε το άδειο δοχείο ζέσεως πάνω στην ηλεκτρική εστία. Τοποθετείτε το Σύστημα μέσα στο δοχείο ζέσεως με την βοήθεια της τετραγωνής μεταλλικής πλάκας. Προσθέτετε σταδιακά νερό στο δοχείο ζέσεως ώστε να σκεπάσει το 1/2 του δοχείου αλουμινίου και όχι παραπάνω, διότι όταν το νερό αρχίσει να βράζει, κινδυνεύει να εισέλθει στο Σύστημα.
- Αρχικές ρυθμίσεις προγράμματος λήψης δεδομένων. Πατήστε δοκιμαστικά **Begin** στο πρόγραμμα λήψης δεδομένων και επιβεβαιώστε ότι δείχνει μία εύλογη θερμοκρασία κοντά στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Πατήστε **List** και **Graph** ώστε να εμφανιστούν στην οθόνη του Η/Υ τα παράθυρα πίνακα δεδομένων και γραφικής παράστασης. Κάντε κλικ στο λευκό τετραγωνίδιο επιλογής **Recording** (για έναρξη της διαδικασίας λήψης μετρήσεων

από το πρόγραμμα) καθώς και στο **Continue** (επιλογή συνεχούς καταγραφής). Ρυθμίστε τον ρυθμό λήψης μετρήσεων στην προβλεπόμενη θέση (κάτω δεξιά στο κύριο παράθυρο του προγράμματος):

Sample interval → 10 seconds (μία μέτρηση ανά 10 sec)

Πατήστε δοκιμαστικά **Begin** για να διαπιστώσετε ότι πράγματι παίρνετε μία μέτρηση κάθε 10 sec. Αφήστε το πρόγραμμα να παίρνει μετρήσεις, παρόλο που δεν θα χρειαστεί να τις αποθηκεύσετε, για να παρακολουθείτε την θερμοκρασία και τον ρυθμό μεταβολής της.

- Θέρμανση. Ανάψτε την εστία στην μέγιστη ισχύ (ένδειξη “3”). Παρατηρείστε ότι στο υδραργυρικό θερμόμετρο, την οθόνη του πολυμέτρου και την οθόνη του H/Y η θερμοκρασία του νερού ανεβαίνει σταδιακά. Όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 60 βαθμούς, μειώστε την ισχύ στην ένδειξη “2”. Μόλις η θερμοκρασία πλησιάσει τους 80 βαθμούς, πατήστε **Stop** στο πρόγραμμα λήψης δεδομένων, για να είναι έτοιμο για την έναρξη των μετρήσεων κατά το φαινόμενο της ψύξης που θα ακολουθήσει.
- Διαβάστε ολόκληρη την επόμενη παράγραφο για να είσατε προετοιμασμένοι για την διαδικασία περάτωσης της θέρμανσης και έναρξης των μετρήσεων ψύξης!
- Περάτωση της θέρμανσης και έναρξη των μετρήσεων. Μόλις η θερμοκρασία στο πολύμετρο φτάσει τους 85 βαθμούς, σβήνετε την εστία. Με το ένα χέρι συγκρατείστε το υδραργυρικό θερμόμετρο ενώ παράλληλα με το άλλο και με την βοήθεια απορροφητικού χαρτιού για να μην καείτε αφαιρέστε την τετράγωνη μεταλλική πλάκα, την οποία και αφήνετε στον πάγκο εργασίας. Βγάλτε προσεκτικά το Σύστημα από το δοχείο ζέσεως, και σκουπίστε το γύρω-γύρω με απορροφητικό χαρτί για να αφαιρεθούν τα σταγονίδια νερού από την εξωτερική επιφάνεια του δοχείου αλουμινίου και του πάματος. Τοποθετείστε το σύστημα στον χώρο σταθερής θερμοκρασίας όπως φαίνεται στο Σχήμα (3) και στη συνέχεια πατήστε **Begin** για έναρξη των μετρήσεων κατά την ψύξη.
- Επιβεβαιώστε ότι πράγματι το πρόγραμμα λαμβάνει μία μέτρηση ανά 10 sec και ότι η θερμοκρασία πέφτει με ομαλό τρόπο που μοιάζει με εκθετική πτώση. Κατά την διάρκεια της ψύξης εκτελείτε τις εργασίες που σας έχει αναθέσει ο διδάσκων.
- Προφυλάξεις. Κατά τη διάρκεια της ψύξης προσέχετε τα εξής:
 - μην μετακινείτε τα μέρη της διάταξης και κυρίως μην αγγίζετε το θερμοζεύγος ή το πολύμετρο
 - μην πειράζετε τον υπολογιστή
 - μην κουνάτε τον πάγκο εργασίας και μην τον ακουμπάτε με δύναμη.
- Τερματισμός των μετρήσεων και αποθήκευση δεδομένων. Μόλις η θερμοκρασία φτάσει τους 55-50 βαθμούς, πατάτε **Stop** στο πρόγραμμα για τερματισμό των μετρήσεων.

Για την αποθήκευση των μετρήσεων, στο πρόγραμμα από το μενού **File** επιλέγετε **Save Data File** και κάνετε πλοήγηση στον φάκελο **c:\Desktop\My Documents\DATA**. Για όνομα αρχείου χρησιμοποιήστε την τυποποίηση:

ημερομηνία – πάγκος εργασίας – υλικό – αριθμός δοκιμής

Παραδείγματα: 220312-Z3-H2O-1.dat, 220312-Z5-Pb-2.dat. Ο “αριθμός δοκιμής” χρειάζεται για να διαχωρίζονται δεδομένα από διαφορετικά πειράματα με το ίδιο υλικό. Ο σκοπός της τυποποίησης είναι: α) να αναγνωρίζετε εύκολα τα δεδομένα σας μεταξύ των άλλων δε-

δομένων που ενδέχεται να υπάρχουν στον φάκελο και β) να μπορεί ο διδάσκων να παίρνει τα δεδομένα μετά το τέλος της άσκησης.

- Ανακύκλωση υλικών. Επιστρέψτε το απεσταγμένο νερό στο δοχείο από το οποίο το πήρατε, και στεγνώνετε προσεκτικά το δοχείο αλουμινίου για να είναι έτοιμο για την επόμενη χρήση.

6.1.1.B Προσεγγιστικός υπολογισμός του λ

Πριν προχωρήσετε στο επόμενο πείραμα, πρέπει να προσδιορίσετε με κάποιο τρόπο την σταθερά λ , η οποία είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό ειδικών θερμοτήτων στη συνέχεια. Αυτό μπορεί να γίνει είτε λαμβάνοντας υπόψη ολόκληρη την καμπύλη ψύξης (πράγμα που θα κάνετε στην γραπτή σας εργασία), είτε χρησιμοποιώντας δύο μόνο τιμές χρόνου-θερμοκρασίας.

Για μικρές διαφορές χρόνου, η βασική μας διαφορική εξίσωση (11)

$$\frac{d\Theta}{dt} = - \left[\frac{\lambda}{m_1 c_1 + m_2 c_2} \right] \Theta \quad (11)$$

μπορεί να δώσει την ακόλουθη προσεγγιστική μορφή:

$$\frac{\theta_2 - \theta_1}{\Delta t} = - \left[\frac{\lambda}{m_1 c_1 + m_2 c_2} \right] \frac{(\theta_2 + \theta_1 - 2\theta_s)}{2} \quad (15)$$

όπου θ_2 και θ_1 είναι οι θερμοκρασίες στο τέλος και στην αρχή της μικρής χρονικής μεταβολής Δt . Σαν ουσία 1 θεωρούμε το αλουμίνιο και σαν ουσία 2 το απεσταγμένο νερό ($c_1 = 895 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ και $c_2 = 4186 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$). Εφόσον είναι γνωστές και οι μάζες, χρησιμοποιώντας την (15) μπορείτε να υπολογίσετε την σταθερά λ , η οποία είναι και ο μοναδικός άγνωστος.

- Ως Δt επιλέξτε ένα μικρό χρονικό διάστημα που προσδιορίζεται από 11 τιμές μετρήσεων. Μπορείτε φυσικά να θεωρήσετε και λίγο μεγαλύτερο διάστημα μετρήσεων, αλλά όχι πολύ μικρότερο (γιατί;)
- Στον πίνακα μετρήσεων του προγράμματος λήψης δεδομένων (List) εντοπίστε την πλησιέστερη τιμή θερμοκρασίας κοντά στους 70°C , η οποία που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία κοντά στο μέσον της καμπύλης ψύξης. Θεωρείστε μία ομάδα 5 μετρήσεων πριν και 5 μετά από την πλησιέστερη προς τους 70°C θερμοκρασία, όπως στο Σχήμα 5.

Σχήμα 5: Πίνακας δεδομένων για τους προσεγγιστικούς υπολογισμούς.



- Θεωρήστε την πρώτη θερμοκρασία από την ομάδα μετρήσεων που επιλέξατε σαν αρχική θ_1 και την τελευταία σαν τελική θ_2 . Σημειώστε τις θερμοκρασίες αυτές και το αντίστοιχο χρονικό διάστημα Δt .
- Αντικαταστήστε τα μεγέθη στην (15) και υπολογίστε την λ σε K/J.

Η τιμή της παραμέτρου λ εξαρτάται από το συγκεκριμένο δοχείο αλουμινίου που χρησιμοποιείται και άρα αναμένεται να είναι λίγο διαφορετική για κάθε ομάδα φοιτητών. Μια αναμενόμενη τιμή του είναι $\lambda \approx 0.04 \text{ K/J}$.

6.1.2 ΜΕΡΟΣ 2: Προσδιορισμός του c_{GA} και του c_{Pb}

Στην δεύτερο μέρος της άσκησης, έχοντας πλέον γνωστή την παράμετρο λ της πειραματικής συσκευής μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε για να προσδιορίσουμε την ειδική θερμότητα άγνωστων ουσιών, αρχίζοντας από την γλυκερίνη.

6.1.2.A Προσδιορισμός του c_{GA}

Η γλυκερίνη είναι μία υγρή οργανική ουσία με χημικό τύπο $C_3H_8O_3$ και ειδική θερμότητα $2381 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ στους 25°C . Σημειώνουμε ότι για τις θερμοκρασίες του πειράματος, η ειδική θερμότητα της γλυκερίνης μεταβάλλεται κατά 4% περίπου από $2625 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ στους 80°C έως $2505 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ στους 50°C , αλλά για την επεξεργασία θα θεωρηθεί ότι είναι σταθερή.

6.1.2.B Πείραμα 2: Ψύξη γλυκερίνης

➤ Γεμίζετε το δοχείο κατά τα 2/3 με γλυκερίνη. Ζυγίζετε και συμπληρώνετε τον πίνακα:

Μάζα άδειου δοχείου (απόβαρο)	$m_1 =$	kg
Μάζα δοχείου + γλυκερίνη	$m_1 + m_2 =$	kg
Μάζα γλυκερίνης	$m_2 =$	kg

➤ Ακολουθείστε τα ίδια βήματα ακριβώς όπως στο προηγούμενο πείραμα (§6.3.A): Θερμάνετε το Σύστημα μέχρι τους $80\text{-}85$ βαθμούς και πάλι, τοποθετείστε το στον χώρο σταθερής θερμοκρασίας και πάρτε μετρήσεις μέχρι τους $55\text{-}50$ βαθμούς. Αποθηκεύστε τα δεδομένα σας χρησιμοποιώντας την ίδια σύμβαση με αυτή των δεδομένων του προηγούμενου πειράματος και επιστρέψτε την γλυκερίνη στο αντίστοιχο δοχείο. Ξεπλύνετε στην βρύση το δοχείο αλουμινίου για να διαλυθεί η γλυκερίνη, και στεγνώστε το πολύ καλά, εξωτερικά και εσωτερικά.

6.1.2.Γ Προσεγγιστικός υπολογισμός του c_{γ}

Με ανάλογη πορεία όπως στην §6.3.B, χρησιμοποιείτε τον προσεγγιστικό τύπο (15) για να προσδιορίσετε την ειδική θερμότητα της γλυκερίνης. Να χρησιμοποιήσετε πάλι χρονικό διάστημα γύρω από τους 70°C και την προσεγγιστική τιμή του λ που προσδιορίσατε. *Πόσο απέχει η τιμή που βρήκατε από την αναμενόμενη;*

6.1.3 Προσδιορισμός του c_{Pb}

Στο τρίτο πείραμα χρησιμοποιούμε μόλυβδο, ο οποίος σε καθαρή μορφή έχει 20 φορές μικρότερη ειδική θερμότητα από την γλυκερίνη, και συγκεκριμένα $c_{Pb} = 130 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$. Ο μόλυβδος που χρησιμοποιούμε στην άσκηση στην πραγματικότητα είναι κράμα μολύβδου που περιέχει 2-6% αντιμόνιο (Sb) το οποίο έχει $c_{Sb} = 210 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, οπότε αναμένεται να βρείτε ειδική θερμότητα 4 – 5% μεγαλύτερη από αυτή του καθαρού μολύβδου.

6.1.3.A Πείραμα 3: Ψύξη μολύβδου

➤ Γεμίζετε το δοχείο κατά τα 2/3 με σφαιρίδια μολύβδου. Ζυγίζετε και συμπληρώνετε τον πίνακα:

Μάζα άδειου δοχείου (απόβαρο)	$m_1 =$	kg
Μάζα δοχείου με + Pb	$m_1 + m_2 =$	kg
Μάζα Pb	$m_2 =$	kg

- Ακολουθείστε τα ίδια βήματα ακριβώς όπως στο πρώτο πείραμα (§6.3.A): Θερμάνετε το Σύστημα και τοποθετείστε το στον χώρο σταθερής θερμοκρασίας.
- Επειδή ο μόλυβδος έχει πολύ μικρότερη ειδική θερμότητα, αναμένεται η ψύξη να διαρκέσει λιγότερο (γιατί;). Για να ληφθεί ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων, αλλάξτε τον ρυθμό μετρήσεων (Sample Interval) σε 5 sec.
- Αφήστε το Σύστημα να ψυχθεί μέχρι τους 55-50 βαθμούς. Αποθηκεύστε τα δεδομένα σας, και αφήστε το Σύστημα συναρμολογημένο για να χρησιμοποιηθεί το ίδιο ακριβώς Σύστημα με την ίδια ποσότητα μολύβδου στο επόμενο πείραμα.

6.1.3.B Προσεγγιστικός υπολογισμός του c_{Pb}

Με ανάλογη πορεία όπως στην §6.4.B, χρησιμοποιείτε τον προσεγγιστικό τύπο (13) για να προσδιορίσετε την ειδική θερμότητα του μολύβδου. Να χρησιμοποιήσετε πάλι χρονικό διάστημα 60 sec γύρω από τους 70 °C και την προσεγγιστική τιμή του λ που έχετε προσδιορίσει από την §6.3.B. *Πόσο απέχει η τιμή που βρήκατε από την αναμενόμενη;*

6.1.4 ΜΕΡΟΣ 3: Διερεύνηση: Μελέτη της πειραματικής διαδικασίας

Στο τρίτο μέρος της άσκησης θα διερευνήσουμε μια πλευρά της επίδρασης των χαρακτηριστικών της πειραματικής διάταξης, την οποία αν αγνοήσουμε, αλλοιώνει τα πειραματικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα θα μελετήσουμε την επίδραση που έχει στο φαινόμενο της ψύξης το παρασιτικό φαινόμενο της εξάτμισης των σταγονιδίων του νερού επάνω στην εξωτερική επιφάνεια του δοχείου αλουμινίου, εάν δεν το σκουπίσουμε πριν το τοποθετήσουμε στον χώρο σταθερής θερμοκρασίας.

Μεθοδολογικά, την επίδραση της εξάτμισης μπορούμε να την ανιχνεύσουμε μόνο εάν συγκρίνουμε τον τρόπο με τον οποίο ψύχεται το ίδιο Σύστημα με ή χωρίς σταγονίδια νερού. Για το λόγο αυτό θα συγκρίνουμε το προηγούμενο πείραμα της ψύξης μολύβδου με ένα πανομοιότυπο πείραμα το οποίο διαφέρει μόνο στην ύπαρξη σταγονιδίων.

Στην περίπτωση που υπάρχουν σταγονίδια, το εξατμιζόμενο νερό θα απορροφήσει ποσό θερμότητας από το δοχείο αλουμινίου το οποίο εξαρτάται από την μάζα του κι την λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης του νερού. Σημειώνουμε ότι η λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης για το νερό είναι ιδιαίτερα υψηλή και ίση με 2256 Joule ανά γραμμάριο, το οποίο σημαίνει ότι τα λίγα σταγονίδια νερού, παρ' όλη τη μικρή τους μάζα, απορροφούν σημαντικό ποσό θερμότητας. *Σε τι αναμένετε να διαφέρει η νέα αυτή καμπύλη ψύξης από αυτήν του προηγούμενου πειράματος (υποθέτοντας ότι η ψύξη ξεκινά από την ίδια αρχική θερμοκρασία);*

Κατά συνέπεια, εάν δεν λάβουμε υπόψη το φαινόμενο αυτό της εξάτμισης και θεωρήσουμε ότι η ψύξη του Συστήματος οφείλεται μόνο στην ακτινοβολία και την επαφή με τον αέρα (όπως στο προηγούμενο πείραμα), θα οδηγηθούμε σε λανθασμένο υπολογισμό της ειδικής θερμότητας της άγνωστης ουσίας, ειδικά αν προβούμε σε τυφλή επεξεργασία των μετρήσεων με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων. *Τί είδους σφάλμα μέτρησης συνιστά το παραπάνω; Αναμένετε η ειδική θερμότητα που προσδιορίζεται με την παρουσία σταγονιδίων να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από αυτήν που προσδιορίσατε στο προηγούμενο πείραμα, δηλαδή χωρίς σταγονίδια, και γιατί;*

6.1.4.A Πείραμα 4: Ψύξη μολύβδου με σταγονίδια στο δοχείο αλουμινίου

- Ακολουθήστε τα ίδια βήματα όπως στο προηγούμενο Πείραμα 3, χρησιμοποιώντας το ίδιο Σύστημα. Θερμάνετε το σύστημα και φροντίστε η θερμοκρασία στην οποία θα το βγάλετε από το νερό είναι λίγο χαμηλότερη (~5 βαθμούς) από ό,τι στο προηγούμενο πείραμα. Αυτό γίνεται για να είναι στη συνέχεια εύκολη η **υπέρθωση** των διαγραμμάτων ψύξης των δύο πειραμάτων (τρίτο και τέταρτο)
- Χρησιμοποιείτε τον ίδιο ρυθμό μετρήσεων Sample Interval = **5 sec**.
- Βγάζετε το Σύστημα από το δοχείο ζέσεως και το τοποθετείτε στον χώρο σταθερής θερμοκρασίας χωρίς να το σκουπίσετε ή να αγγίξετε το δοχείο αλουμινίου.
- Παίρνετε μετρήσεις για 5 λεπτά μόνο (ή και λιγότερο), δηλαδή για τόσο όσο απαιτείται για να φανεί καθαρά η διαφορά μεταξύ ψύξης με εξάτμιση (στην αρχή) και ψύξης χωρίς εξάτμιση (στην συνέχεια). Αποθηκεύστε τα δεδομένα σας.
- Αφού τελειώσει το πείραμα, επιστρέψτε τον μολύβδο στο δοχείο του.

6.1.4.B Εκτίμηση της μάζας των σταγονιδίων

Για μια εκτίμηση της μάζας των σταγονιδίων νερού που μπορούν να προσκολληθούν στο δοχείο αλουμινίου, κάνετε 5 διαδοχικές μετρήσεις της μάζας του «βρεγμένου» δοχείου, βυθίζοντάς το στο νερό και τοποθετώντας το πάνω στον ζυγό. Φροντίζετε βέβαια μετά από κάθε ζύγιση να στεγνώνετε το δοχείο (και τον δίσκο του ζυγού!), προσομοιώνοντας δηλαδή τις συνθήκες υπό τις οποίες βγήκε το δοχείο από το δοχείο ζέσεως στο πείραμά μας. Από τις 5 αυτές τιμές μπορείτε να εξάγετε τον μέσο όρο και να κάνετε μια εκτίμηση του ποσού θερμότητας που απαιτεί η εξάτμιση (βλέπε Ερωτήσεις για το σπίτι).

6.2. Εκτύπωση – Αποθήκευση δεδομένων σε δισκέτα

Αφού έχετε τελειώσει όλα σας τα πειράματα, και εφόσον δεν διαθέτετε H/Y και εκτυπωτή στο σπίτι σας, εκτυπώνετε τις γραφικές παραστάσεις των πειραμάτων σας (από μία φορά). Αυτό γίνεται εύκολα από το πρόγραμμα Data Logger: Από το μενού **File – Open Data File** ανοίγετε ένα-ένα τα αρχεία δεδομένων σας και τα εκτυπώνετε με την εντολή **File – Print – Graph**.

Υπενθυμίζουμε ότι οι γραφικές αυτές παραστάσεις αποτελούν τα **πρωτογενή** σας δεδομένα θερμοκρασίας χρόνου και ότι **δεν** είναι για αυτά που ισχύει η εκθετική σχέση (4), αλλά για τις διαφορές $\Theta = \theta - \theta_\delta$.

Τα πειραματικά σας δεδομένα πρέπει να τα αποθηκεύσετε σε δισκέτα, γιατί με βάση αυτά θα συγγράψετε την εργασία σας. Από την επιφάνεια εργασίας (Desktop) κάντε πλοήγηση μέσα στο φάκελο My Documents\DATA και αντιγράψτε τα αρχεία σε USB memory stick.

6.3. Τέλος της άσκησης

- Γυρίστε τον επιλογέα του πολυμέτρου στην θέση **OFF**.
- Κλείστε το πρόγραμμα επεξεργασίας και στη συνέχεια τον υπολογιστή και την οθόνη.
- Αποσυναρμολογείτε προσεκτικά το Σύστημα. Αν το υδραργυρικό θερμόμετρο έχει “κολλήσει” στα θερμομονωτικά πώματα, απελευθερώστε το με προσεκτικές περιστροφικές κινήσεις, εξασκώντας την μικρότερη δυνατή δύναμη. Αποθηκεύστε το υδραργυρικό θερμόμετρο στην θήκη του.
- Αδειάστε το νερό του ανοξειδωτού δοχείου στον νεροχύτη.

- Επαναφέρατε τον πάγκο εργασίας στην αρχική του κατάσταση.
- Πετάξτε τα απορρίμματα στον κάδο.

7. Εργασία για το σπίτι (οι ερωτήσεις σε *πλάγια γραφή* πρέπει να απαντηθούν)

Από το πρώτο πείραμα (καμπύλη ψύξης του απεσταγμένου νερού) πρέπει να υπολογίσετε την σταθερά λ . Αυτό θα γίνει με επεξεργασία των δεδομένων σας στο Excel (ή όποιο άλλο πρόγραμμα έχετε διαθέσιμο). Εισάγετε τα δεδομένα σας στο Excel και δημιουργείτε τις δύο στήλες χρόνου – θερμοκρασίας με βάση της οδηγίες του Παραρτήματος της άσκησης. Κάντε την γραφική παράσταση (Chart) των δεδομένων. Αυτή πρέπει να μοιάζει με αυτήν που έχετε εκτυπώσει (περίπου εκθετική πτώση).

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του Excel σύμφωνα με το Παράρτημα της άσκησης, πρέπει να μετατρέψετε τα δεδομένα σε τιμές $\Theta = \theta - \theta_\delta$. Κάντε γραφική παράσταση αυτών των νέων τιμών και αλλάζτε τον άξονα των θερμοκρασιών σε λογαριθμικό. Θα πρέπει να πάρετε μια γραφική παράσταση που να προσεγγίζει μία ευθεία.

Στην γραφική παράσταση τώρα προσθέστε την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων (Trendline). Οι συντελεστές ελαχίστων τετραγώνων εμφανίζονται από τις προτιμήσεις της ευθείας (Format Trendline – Options – Display equation on chart), οι οποίες εμφανίζονται με δεξί κλικ πάνω στην ευθεία. Συγκρίνοντας τον τύπο της ευθείας με την σχέση (6) υπολογίστε την τιμή του συντελεστή λ (μην ξεχάσετε τις μονάδες του!)

Κάνοντας την ανάλογη εργασία για την γλυκερίνη και τον μόλυβδο, υπολογίστε τις ειδικές θερμότητες $c_{Γλ}$ και c_{Pb} .

Πόσο απέχουν οι τιμές της ειδικής θερμότητας από τις αναμενόμενες τιμές; Θεωρείτε τις αποκλίσεις αυτές αποδεκτές; Σε ποιες αιτίες μπορείτε να τις αποδώσετε;

Για τα δύο τελευταία πειράματα, πρέπει να υπερθέσετε τις δύο καμπύλες ψύξης. Αυτό απαιτεί να δημιουργήσετε ένα φύλλο εργασίας που να περιέχει τρεις στήλες δεδομένων (χρόνος, θερμοκρασία 1 και θερμοκρασία 2). Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να συγχρονίσετε τα δεδομένα των δύο πειραμάτων, ως εξής: Παρατηρείστε από ποια θερμοκρασία ξεκινάει το τέταρτο πείραμα (μόλυβδος με σταγονίδια νερού). Αφαιρέστε όλες τις τιμές θερμοκρασίας του τρίτου πειράματος (χωρίς σταγονίδια) που αντιστοιχούν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από την αρχική του τέταρτου πειράματος. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούμε ένα «εικονικό τρίτο πείραμα», το οποίο ξεκίνησε με αρχική θερμοκρασία ίδια με αυτή του τέταρτου πειράματος. Στη συνέχεια τοποθετείστε τα δεδομένα των δύο πειραμάτων παράλληλα ώστε να αρχίζουν από την ίδια χρονική στιγμή. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να κάνουμε άμεση σύγκριση μέσα από μια γραφική παράσταση που περιέχει και τις δύο σειρές δεδομένων, επιλέγοντας με το ποντίκι τις τρεις στήλες και κάνοντας Chart.

Περιγράψτε με σαφήνεια την διαφορά στην μορφή των δύο γραφικών παραστάσεων. Συσχετίστε το φαινόμενο της εξάτμισης του νερού με την μορφή της καμπύλης του τέταρτου πειράματος. Μπορείτε, και με ποιο τρόπο, να εντοπίσετε το σημείο στο οποίο τελείωσε το φαινόμενο της εξάτμισης; Σχεδιάστε προσεγγιστικά σε ένα διάγραμμα την αναμενόμενη μορφή της καμπύλης ψύξης όταν εξατμίζονται μάζες σταγονιδίων m , $2m$ και $3m$ (τρεις καμπύλες στους ίδιους άξονες).

Στο τέλος της εργασίας σας συνοψίστε τα πειραματικά σας αποτελέσματα και αξιολογήστε τα σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές ειδικής θερμότητας. Με σκοπό να εντοπίσετε τις πιθανές αιτίες των σφαλμάτων στον προσδιορισμό της ειδικής θερμότητας, ξαναδιαβάστε την θεωρία

που χρησιμοποιήθηκε, και συσχετίστε την με την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη του εργαστηρίου. Μπορείτε να προτείνετε βελτιώσεις στα επιμέρους στοιχεία της μεθόδου προσδιορισμού της ειδικής θερμότητας (θεωρία, πειραματική διάταξη, όργανα μέτρησης, πειραματική διαδικασία, επεξεργασία των μετρήσεων) που να μειώνουν τα σφάλματα στον προσδιορισμό της ειδικής θερμότητας;

8. Θέματα για επεξεργασία

- 8.1. Με βάση τις συγκεκριμένες μάζες, θερμοχωρητικότητες και θερμοκρασίες των τριών πρώτων σας πειραμάτων, να υπολογίσετε το συνολικό ποσό θερμότητας που έχασε το σύστημα κάθε φορά. Να συγκρίνετε τα ποσά αυτά με το ποσό που εκτιμάτε ότι χάθηκε λόγω εξάτμισης στο τέταρτο πείραμα, με βάση τις 5 μετρήσεις μάζας σταγονιδίων που κάνατε. Σχολιάστε την σημασία που έχει το καλό σκούπισμα του δοχείου για την αξιοπιστία του πειράματος.
- 8.2. Ενώ θεωρήσαμε ότι η δεξαμενή διατηρεί την θερμοκρασία της σταθερή, στην πραγματικότητα δέχεται την θερμότητα που χάνει το ψυχόμενο Σύστημα και άρα θερμαίνεται. Να υπολογιστεί πόσο είναι το $\delta\theta_s/\delta\theta$. Ο υπολογισμός να γίνει για το πρώτο πείραμα με τα συγκεκριμένα δεδομένα θερμοχωρητικότητας του συστήματος. Για το K_s να λάβετε υπόψη μόνο την μάζα του νερού της δεξαμενής, την οποία μπορείτε να εκτιμήσετε από τον όγκο του (όγκος κυλίνδρου)
- 8.3. Να υπολογιστεί το πηλίκο του μηχανικού έργου προς τη θερμότητα για τη θερμοδυναμική μεταβολή που μελετούμε. Θεωρούμε ότι η πίεση είναι σταθερή και ίση με 1 Atm. Δίδεται πως $\Delta V = V_0 k \Delta\theta$ όπου $k = 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$
- 8.4. Αν η απώλεια της θερμότητας γινόταν μόνο με ακτινοβολία (κενό αέρος), ποια θα ήταν η τιμή της σταθεράς λ ; Δίνεται πως η ενέργεια που ακτινοβολείται ανά μονάδα χρόνου είναι ίση με $A \varepsilon \sigma 4 T_0^3 \Theta$, όπου:
 A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος
 ε ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής (είναι $\varepsilon = 0$ για μια τέλεια ανακλαστική επιφάνεια και $\varepsilon = 1$ για μια τέλεια απορροφητική, ενώ για το Al το οποίο εξετάζουμε, επειδή είναι αρκετά ανακλαστικό, μπορούμε να διαλέξουμε $\varepsilon = 0.1$)
 $\sigma = 5.7 \times 10^{-8} \text{ J m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$
 T_0 η απόλυτη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, και $\Theta = T_{\text{σώμα}} - T_0$
- 8.5. Στο πρώτο πείραμα υποθέστε ότι οι μετρήσεις θερμοκρασίας περιέχουν σταθερό συστηματικό σφάλμα (-5 °C). Θα επηρεαστεί, και κατά πόσο, η προσδιοριζόμενη τιμή του λ ;
- 8.6. Στο πρώτο πείραμα και πάλι, υποθέστε ότι έχετε συστηματικό σφάλμα στην μέτρηση μαζών με την ζυγαριά κατά -5% . Θα επηρεαστεί, και κατά πόσο, η προσδιοριζόμενη τιμή του λ ;
- 8.7. Σαν συνέχεια του 8.6, η μεταβολή αυτή στο λ κατά πόσο θα επηρεάσει την τιμή της υπολογιζόμενης τιμής της ειδικής θερμότητας της γλυκερίνης; Σχολιάστε.
- 8.8. Γιατί η ειδική θερμότητα του νερού είναι τόσο υψηλή ($4186 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$); Γιατί είναι σημαντικά μικρότερη στα μέταλλα;
- 8.9. Γνωρίζετε περιπτώσεις υλικών που η ειδική τους θερμότητα εξαρτάται έντονα από την θερμοκρασία;

9. Βιβλιογραφία

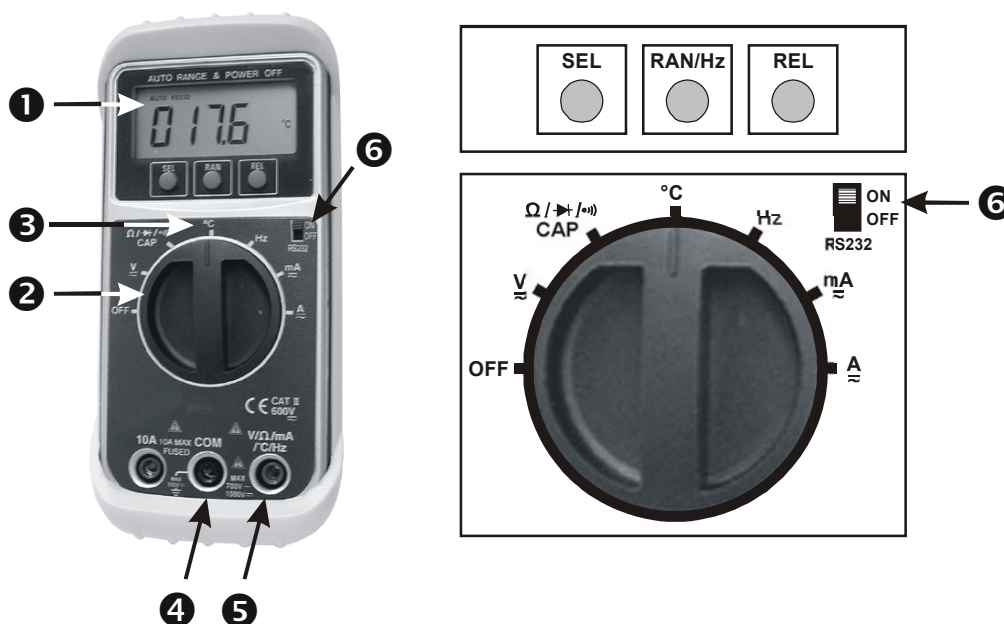
Δ.Σ. Κυριάκος και Γ.Λ. Μπλήρης, 1998. *Φυσική: Θερμότητα – Ηλεκτρισμός* (Β' Έκδοση), Θεσσαλονίκη: Ζήτης

CINDAS, 1988. Properties of inorganic and organic fluids. CINDAS Data Series on Material Properties Volume V-1, C.Y. Ho (ed.), Hemisphere publishing corporation, New York, London.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Μέτρηση θερμοκρασίας με το ψηφιακό πολύμετρο

1. Το ψηφιακό πολύμετρο

Το ψηφιακό πολύμετρο που χρησιμοποιείται στην άσκηση έχει την δυνατότητα μέτρησης των ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία φαίνονται στις αντίστοιχες θέσεις λειτουργίας του περιστροφικού επιλογέα, δηλαδή τάση (V), ρεύμα (mA, A), αντίσταση (Ω), χωρητικότητα (CAP), καθώς και συχνότητα (Hz) και θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$).



Σχήμα ΠΑ1: Το ψηφιακό πολύμετρο και ο περιστροφικός επιλογέας του

1. Οθόνη
2. Περιστροφικός επιλογέας
3. Θέση επιλογέα για την μέτρηση θερμοκρασίας
4. Αρνητικός ακροδέκτης εισόδου (γείωση)
5. Θετικός ακροδέκτης εισόδου
6. Διακόπτης σειριακής εξόδου προς υπολογιστή

Για την άσκηση αυτή ενδιαφέρει μόνο η δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας με το πολύμετρο έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, ο οποίος μετατρέπει την θερμοκρασία σε ηλεκτρική τάση. Ο αισθητήρας που συνεργάζεται με το συγκεκριμένο πολύμετρο στην περίπτωση μας είναι ένα τυποποιημένο θερμοηλεκτρικό στοιχείο (θερμοζεύγος) “τύπου K”. Το θερμοζεύγος αυτό αποτελείται από δύο αγωγούς από κράματα Chromel–Alumel και παρέχει διαφορά δυναμικού 0.04 mV ανά βαθμό Κελσίου της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ θερμής και ψυχρής επαφής.

Για να μετρήσετε θερμοκρασία, αρκεί να συνδέσετε το θερμοζεύγος με το πολύμετρο και να επιλέξετε την θέση $^{\circ}\text{C}$ στον περιστροφικό επιλογέα του (βλέπε “3” στο Σχήμα ΠΑ1. Οι μετρήσεις που προέρχονται από τον συνδυασμό θερμοζεύγους-πολύμετρου έχουν διακριτική ικανότητα 0.1°C και πιστότητα $1-2^{\circ}\text{C}$.

Το συγκεκριμένο πολύμετρο έχει την δυνατότητα σύνδεσης με Η/Υ μέσω του σειριακού διαύλου (serial port). Ο Η/Υ μέσω κατάλληλου προγράμματος λήψης δεδομένων το οποίο ονομάζεται Data Logger λαμβάνει τα δεδομένα (χρόνος και θερμοκρασία) από το πολύμετρο και τα παρουσιάζει στην οθόνη του Η/Υ. Μέσω καταλλήλων επιλογών του προγράμματος, ο χρήστης έχει την δυνατότητα τα λαμβανόμενα δεδομένα να τα βλέπει στην οθόνη του Η/Υ (σε ψηφιακή ή/και αναλογική μορφή), να τα παρουσιάσει σε πίνακα δεδομένων, να τα σχεδιάσει σε γραφική παράσταση και να τα αποθηκεύσει στον σκληρό δίσκο του Η/Υ (ή σε δισκέτα). Επίσης το πρόγραμμα μπορεί να ανακαλέσει αποθηκευμένα δεδομένα και να τα παρουσιάσει σε πίνακα ή/και γραφική παράσταση.

Επειδή το πολύμετρο διαθέτει λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας, μετά από την παρέλευση 30 λεπτών από την τελευταία χρήση του περιστροφικού επιλογέα, το πολύμετρο σταματά την λήψη μετρήσεων. Για το λόγο αυτό, μετά από κάθε ανεξάρτητο πείραμα πρέπει να γυρνάτε τον επιλογέα του πολυμέτρου στην θέση OFF. (Εναλλακτικά, μπορείτε να απενεργοποιήσετε τη λειτουργία αυτή, ανάβοντας το πολύμετρο έχοντας συγχρόνως πατημένο το πλήκτρο SEL.)

2. Το πρόγραμμα λήψης δεδομένων Data Logger

Όταν εκτελέσετε πρόγραμμα Data Logger από την επιφάνεια εργασίας του Η/Υ, εμφανίζεται η κύρια οθόνη του όπως στο Σχήμα ΠΑ2.

Πλήκτρα ενεργοποίησης και απενεργοποίησης λειτουργιών:

- Begin → Επικοινωνία με το πολύμετρο
- Digital → Εμφάνιση ψηφιακής ένδειξης
- Analog → Εμφάνιση αναλογικής ένδειξης
- List → Εμφάνιση πίνακα δεδομένων
- Graph → Εμφάνιση γραφικής παράστασης
- Recording → Έναρξη καταγραφής μετρήσεων
- Ones → Επιλογή συνεχούς καταγραφής
- Time → Όριο συνολικού χρόνου καταγραφής
- Sample interval → Χρόνος ανά μέτρηση (ρυθμός)

Επιλογή ρυθμίσεων καταγραφής

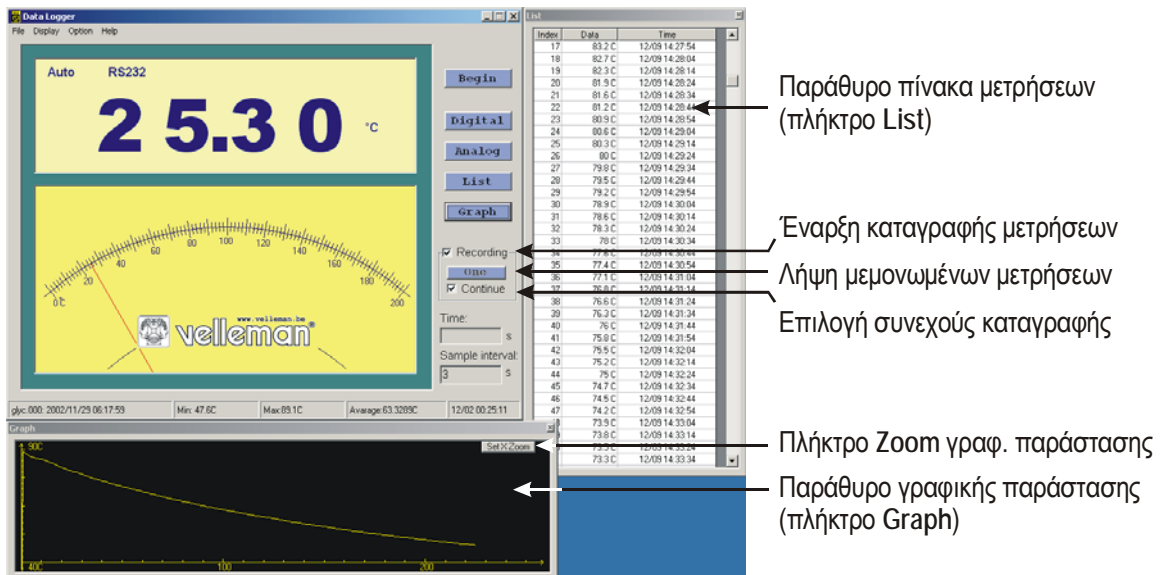
Σχήμα ΠΑ2: Επιλογές και ρυθμίσεις του προγράμματος Data Logger

Αν ο διακόπτης ενεργοποίησης της σειριακής εξόδου του πολυμέτρου είναι στη θέση ON (“6” στο Σχ. ΠΑ1), και ο επιλογέας του στην θέση μέτρησης θερμοκρασίας (°C), πατώντας στο πρόγραμμα το πλήκτρο Begin θα δείτε στην οθόνη του Η/Υ να απεικονίζονται οι ίδιες τιμές θερμοκρασίας με αυτές που δείχνει το πολύμετρο.

Σημειωτέον ότι οι λειτουργίες ένδειξης και καταγραφής είναι ανεξάρτητες, δηλαδή μετρήσεις δεν καταγράφονται από το πρόγραμμα εάν πρώτα δεν το επιλέξετε εσείς ενεργοποιώντας και την επιλογή Recording (έναρξη καταγραφής) και την επιλογή Continue (συνεχόμενη καταγραφή). Αυτό μπορείτε να το διαπιστώσετε ως εξής: εμφανίστε τα παράθυρα του πίνακα μετρήσεων (List) και της γραφικής παράστασης (Graph) όπως στο Σχ. ΠΑ3. Παρατηρείστε ότι στον πίνακα μετρήσεων δεν εμφανίζονται τιμές, παρόλο που οι ενδείξεις μεταβάλλονται. Επιλέγοντας μόνο το Recording επίσης δεν εμφανίζονται τιμές. (Στην κατάσταση αυτή όμως έχετε

την δυνατότητα να πάρετε μεμονωμένες μετρήσεις πατώντας το πλήκτρο “One”). Όταν όμως επιλέξετε και το Continue, βλέπετε ότι εμφανίζονται συνεχόμενες μετρήσεις στον πίνακα και ότι αρχίζει να σχηματίζεται μία γραφική παράσταση. Το πλήκτρο Begin έχει γίνει τώρα Stop και αν το πατήσετε θα σταματήσει η λήψη των μετρήσεων. Αν ξαναπατήσετε Begin, ο πίνακας αδειάζει και οι μετρήσεις ξεκινούν από την αρχή.

Κάθε φορά που πατάτε ‘Begin’ ο πίνακας δεδομένων αδειάζει και οι προηγούμενες μετρήσεις σας χάνονται. Άρα βεβαιωθείτε ότι έχετε αποθηκεύσει τα υπάρχοντα δεδομένα σας πριν πατήσετε ‘Begin’!



Σχήμα ΠΑ3: Εμφάνιση και καταγραφή μετρήσεων

Ο ρυθμός καταγραφής μετρήσεων επιλέγεται έμμεσα, μέσω του χρόνου μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων Sample Interval. Εισάγετε στο πεδίο εισόδου Sample interval μία τιμή π.χ. 2 (σε second), πατήστε Stop/Begin και παρατηρείστε ότι πράγματι στον πίνακα τώρα εισάγεται μία τιμή κάθε 2 sec. (Διευκρινίζεται ότι στην πραγματικότητα το πολύμετρο στέλνει μετρήσεις με σταθερό ρυθμό 4 ανά δευτερόλεπτο. Αυτές λαμβάνονται όλες όταν από το πρόγραμμα όταν το πεδίο Sample Interval είναι κενό, ενώ όταν αυτό περιέχει μία τιμή, τότε γίνεται δειγματοληψία των μετρήσεων, π.χ. στο ανωτέρω παράδειγμα μία μέτρηση ανά 2 sec).

Η προρυθμισμένη μέγιστη τιμή χρόνου στον οριζόντιο άξονα της γραφικής παράστασης είναι 1000 sec (περίπου 6.5 min). Αυτό δεν σημαίνει ότι οι μετρήσεις θα σταματήσουν μετά τα 1000 sec, αλλά ότι η γραφική παράσταση θα συνεχιστεί εκτός κλίμακας. Για να εμφανιστεί το υπόλοιπο της γραφικής παράστασης, πρέπει να χρησιμοποιήσετε την λειτουργία Zoom στο παράθυρο αυτό. Εισάγοντας τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, η γραφική παράσταση μεγεθύνεται στον οριζόντιο άξονα (πράγμα που επιτρέπει την λεπτομερή εξέταση της αρχής της γραφικής παράστασης), ενώ με τιμές μικρότερες της μονάδας, αυτή σμικρύνεται (οπότε εμφανίζονται και τα σημεία με τιμή χρόνου >1000 sec).

Μετά το τέλος μιας σειράς μετρήσεων, πρέπει να τις αποθηκεύσετε στον σκληρό δίσκο του Η/Υ. Για την αποθήκευση των μετρήσεων, στο πρόγραμμα από το μενού **File** επιλέγετε **Save Data File** και κάνετε πλοήγηση σε έναν φάκελο στην επιφάνεια εργασίας π.χ. **DATA**. Για όνομα αρχείου είναι καλό να χρησιμοποιήσετε μια τυποποίηση όπως αυτή:

ημερομηνία – πάγκος εργασίας – υλικό – αριθμός δοκιμής

Παραδείγματα: 220312-Z3-H2O-1.dat, 220312-Z5-Pb-2.dat. Ο “αριθμός δοκιμής” χρειάζεται για να διαχωρίζονται δεδομένα από ενδεχόμενα διαφορετικά πειράματα με το ίδιο υλικό. Ο σκοπός της τυποποίησης είναι α) να αναγνωρίζετε εύκολα τα δεδομένα σας μεταξύ των άλλων δεδομένων που ενδέχεται να υπάρχουν στον φάκελο, β) να μπορεί ο διδάσκων να παίρνει τα δεδομένα μετά το τέλος της άσκησης.

3. Η μορφή του αρχείου δεδομένων

Είναι χρήσιμο να γνωρίζετε την μορφή ενός αρχείου δεδομένων, για να γνωρίζετε την διαδικασία που απαιτείται για την εισαγωγή τους σε προγράμματα όπως το Microsoft Excel, το DPlot ή οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα επεξεργασίας μετρήσεων.

```
"DATA log file!!!"  
1, "", " 89.1", "C", " 12/9/2002 2:25:14 PM"  
2, "", " 88.4", "C", " 12/9/2002 2:25:24 PM"  
3, "", " 87.7", "C", " 12/9/2002 2:25:34 PM"  
4, "", " 87.1", "C", " 12/9/2002 2:25:44 PM"  
5, "", " 86.7", "C", " 12/9/2002 2:25:54 PM"  
.....
```

Σχήμα ΠΑ4: Το περιεχόμενο ενός αρχείου δεδομένων από το Data Logger

Όπως μπορείτε να παρατηρήσετε, η πρώτη γραμμή του αρχείου είναι περιγραφικό κείμενο, το οποίο πρέπει να αγνοήσετε στο πρόγραμμα επεξεργασίας. Οι επόμενες γραμμές αποτελούνται από πέντε πεδία, τα οποία διαχωρίζονται από ένα κόμμα (','). Το πρώτο πεδίο περιλαμβάνει τον αύξοντα αριθμό της μέτρησης και το τρίτο περιέχει τις θερμοκρασίες σε °C. Άρα στο πρόγραμμα επεξεργασίας, θα χρειαστεί να κρατήσετε μόνο το πεδίο της θερμοκρασίας και να διαγράψετε τα υπόλοιπα. Ο χρόνος στον οποίο αντιστοιχεί κάθε μέτρηση θερμοκρασίας θα προσδιοριστεί από το γεγονός ότι κάθε μέτρηση (γραμμή) από την επόμενη χρονικά διαφέρουν κατά το χρονικό διάστημα που επιλέξατε από το Sample interval (π.χ. 10 sec στο παράδειγμα του Σχ. ΠΑ4). Επειδή ο χρόνος έναρξης της καταγραφής είναι $t = 0$ sec, ενώ οι επόμενες μετρήσεις προκύπτουν στα 10, 20, 30, 40 ... sec, θα χρειαστεί να κατασκευάσετε εξ αρχής στο πρόγραμμα επεξεργασίας την στήλη των χρόνων. Στο Παράρτημα Β περιγράφεται η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων και επεξεργασία τους με το πρόγραμμα Microsoft Excel.

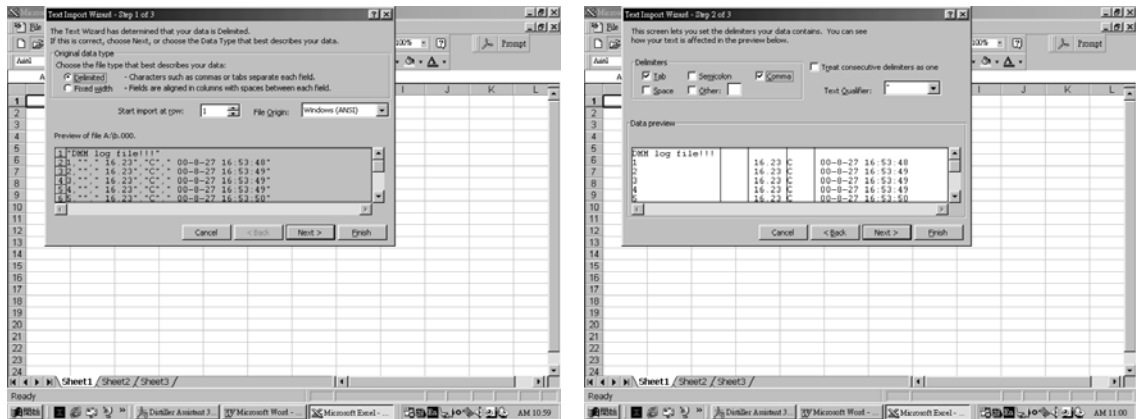
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Επεξεργασία δεδομένων με τα LibreOffice Calc ή Microsoft Excel

1. Εισαγωγή αρχείου δεδομένων στο Excel

Στα εξής περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας στο Microsoft Excel, αλλά ανάλογες ακριβώς διαδικασίες με λίγο διαφορετικά ονόματα ισχύουν για τα λογιστικά φύλλα Calc ανοιχτού κώδικα LibreOffice/OpenOffice/StarOffice κλπ.

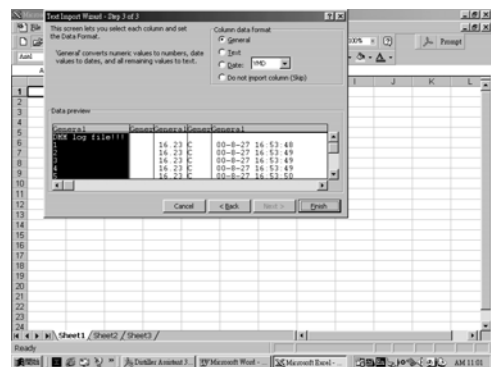
Εκτελέστε το Excel. Από το μενού File - Open κάντε πλοήγηση στον φάκελο που περιέχει τα δεδομένα σας επιλέγοντας σαν τύπο αρχείων για άνοιγμα (Files of type) όλα τα είδη (All files). Από τα αρχεία δεδομένων που εμφανίζονται, επιλέξτε αυτό που σας ενδιαφέρει και πατήστε Open.

Αμέσως εμφανίζεται ο βοηθός εισαγωγής αρχείων κειμένου (Text Import Wizard) οποίος σας προτείνει να εισάγει το αρχείο σας με την μορφή πεδίων διαχωρισμένων με ειδικούς χαρακτήρες (Delimited). Επειδή αυτή είναι η περίπτωση μας (τα πεδία είναι διαχωρισμένα με κόμμα), πατήστε Next για συνέχεια. Ο βοηθός σας ζητάει να επιλέξετε το είδος του διαχωριστικού των πεδίων, το οποίο είναι το κόμμα (Comma). Επιλέξτε το κόμμα και πατήστε Next για συνέχεια.

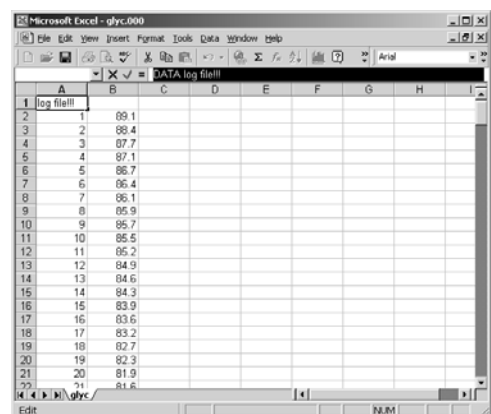


Σχήμα ΠΒ1: Εισαγωγή των δεδομένων στο Excel.


Τώρα έχετε την δυνατότητα να επιλέξετε αν θέλετε να εισαχθεί ή να μην εισαχθεί το κάθε πεδίο δεδομένων. Κρατείστε μόνο το πρώτο και το τρίτο πεδίο, δηλαδή τον αύξοντα αριθμό και τις θερμοκρασίες, επιλέγοντας με το ποντίκι τα πεδία που δεν χρειάζεστε και επιλέγοντας να μην εισαχθούν (Do not import column). Πατήστε Finish.

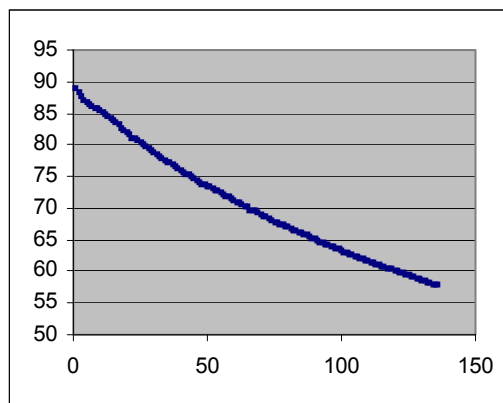


Στο σημείο αυτό θα πρέπει να έχουν εμφανιστεί στο Excel οι δύο στήλες (αν σας εμφανιστεί και κάποια άλλη, δεν πειράζει, επιλέξτε την και πατήστε στο πληκτρολόγιο Delete για να την διαγράψετε). Το πρώτο κελί στο Excel που περιέχει το κείμενο “DATA log file!!!” μπορείτε επίσης να το διαγράψετε. Στο σημείο αυτό είσαστε έτοιμοι για μία πρώτη γραφική παράσταση.



2. Γραφικές παραστάσεις στο Excel

Στο στάδιο αυτό μπορείτε να κάνετε την γραφική παράσταση της θερμοκρασίας συναρτήσει του αύξοντα αριθμού, η οποία είναι παρόμοια με την γραφική παράσταση θερμοκρασίας-χρόνου, διότι $t = (a.a. - 1) \times (Sample\ interval)$. Επιλέξτε με το ποντίκι τις δύο στήλες που περιέχουν τα δεδομένα σας, και στη συνέχεια είτε επιλέξτε από το μενού Insert – Chart, είτε πατήστε το εικονίδιο της γραφικής παράστασης στην γραμμή εικονιδίων (το έγχρωμο ιστόγραμμα ).

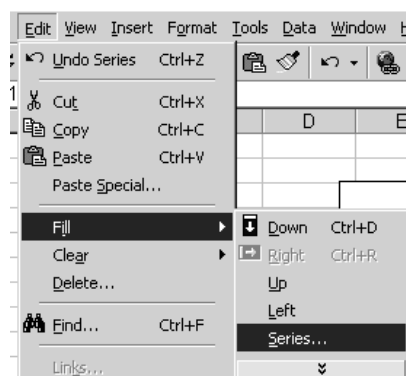


Εμφανίζεται ο βοηθός κατασκευής γραφικών παραστάσεων. Στο είδος γραφικής παράστασης επιλέξτε X–Y Scatter, και πατήστε επανειλημμένα Next στις επόμενες οθόνες του βοηθού, μέχρι να καταλήξετε σε μία γραφική παράσταση μέσα στο φύλλο εργασίας σας. Μεγεθύνετε την γραφική παράσταση με κατάλληλες τιμές της αρχής και του τέλους των αξόνων, ώστε να φτάσετε σε μια γραφική παράσταση ανάλογη με αυτή του παραπάνω σχήματος.

Στο συγκεκριμένο σχήμα παρατηρήστε ότι στην αρχή του φαινομένου η ψύξη δεν είναι ομαλή. Σε μια τέτοια περίπτωση πρέπει να αγνοήσετε έναν αριθμό δεδομένων, ούτως ώστε η καμπύλη ψύξης να είναι ομαλή. Αυτό θα γίνει επιλέγοντας και διαγράφοντας κελιά δεδομένων, οπότε εξετάζοντας την γραφική σας παράσταση η οποία ανανεώνεται αυτομάτως, μπορείτε να αποφασίσετε από ποια μέτρηση το φαινόμενο εξελίσσεται ομαλά. Όταν έχετε πλέον «καθαρίσει» τα δεδομένα σας με αυτό τον τρόπο, μπορείτε να προχωρήσετε στην κατασκευή της γραφικής παράστασης $t - \theta$.

Με την επόμενη διαδικασία θα μπορέσετε να αντικαταστήσετε την στήλη αύξοντα αριθμού με μία στήλη χρόνων. Επιλέγετε ολόκληρη την στήλη αύξοντα αριθμού και την διαγράφετε. Σαν πρώτη μέτρηση χρόνου που αντιστοιχεί στην πρώτη μέτρηση θερμοκρασίας εισάγετε τιμή χρόνου μηδέν. Στην συνέχεια επιλέγετε με το ποντίκι όλα τα κελιά των χρόνων μέχρι τη σειρά που περιέχει την τελευταία τιμή θερμοκρασίας.

Χρησιμοποιώντας το μενού Edit – Fill – Series εμφανίζεται το παράθυρο επιλογών συμπλήρωσης σειράς δεδομένων. Επιλέξτε συμπλήρωση στήλης (Columns) με γραμμική αύξηση τιμών (Linear) και βήμα αύξησης (Step value) ίσο με τον χρόνο ανάμεσα στις μετρήσεις (10 sec στο παράδειγμά μας). Πατώντας OK θα παρατηρήσετε ότι η στήλη των χρόνων συμπληρώθηκε όπως ακριβώς απαιτείται και άρα έχετε έναν πλήρη πίνακα πρωτογενών δεδομένων χρόνου-θερμοκρασίας.



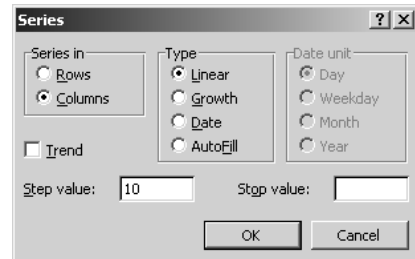
Η γραφική παράσταση επίσης έχει ανανεωθεί, και μπορείτε πλέον να την συμπεριλάβετε στην εργασία σας.

Παρατηρήστε τώρα την μορφή της εξίσωσης (14) της άσκησης:

$$\ln \Theta = \ln \Theta_0 - \frac{\lambda}{m_1 c_1 + m_2 c_2} \cdot t \quad (14)$$

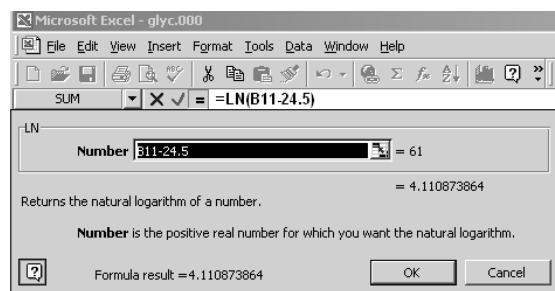
και θυμηθείτε ότι $\Theta = \theta - \theta_{\text{περ}}$

Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα πρέπει να μετασχηματιστούν πριν να επιχειρηθεί η οποιαδήποτε επεξεργασία με την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.

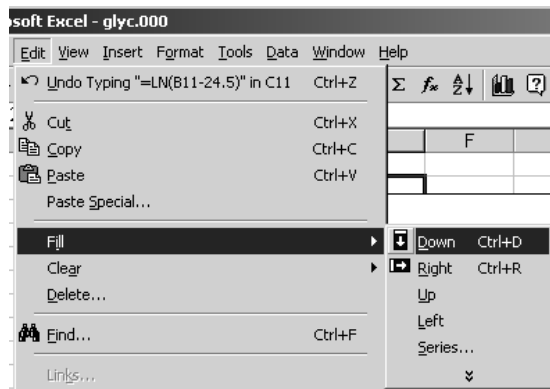


3. Μετασχηματισμός και επεξεργασία δεδομένων

Από την (14) φαίνεται ότι πρέπει από όλες τις τιμές θερμοκρασίας πρέπει να αφαιρεθεί η θερμοκρασία της δεξαμενής θερμότητας και το αποτέλεσμα να λογαριθμιστεί. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα με τον ορισμό μιας συνάρτησης (Function) στο Excel, ως εξής: Έστω ότι το κελί της πρώτης θερμοκρασίας, είναι το B11 και ότι $\theta_0 = 24.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Κάντε κλικ στο διπλανό άδειο κελί C11 για να το επιλέξετε. Στη συνέχεια κάντε κλικ στο “=” που βρίσκεται στην αρχή της γραμμής εισόδου τιμών για να εισέλθει στην κατάσταση εισόδου συναρτήσεων. Δίπλα από το “=” γράψτε LN(B11-24.5) όπως στο σχήμα, δηλαδή “υπολόγισε την ποσότητα αυτή με βάση την τιμή του κελιού B11”. Πατήστε OK και στο κελί C11 θα φανεί η τιμή του $\ln \Theta$.



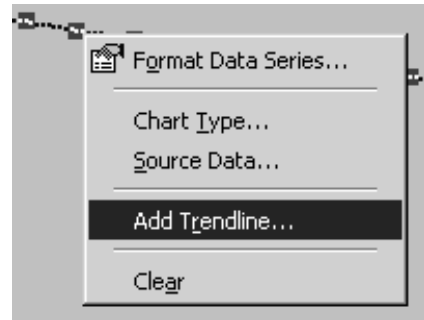
Την ίδια διαδικασία θα έπρεπε να την ακολουθήσετε για όλα τα κελιά θερμοκρασίας, αν το Excel δεν διέθετε τον επόμενο αυτοματισμό: Επιλέξτε με το ποντίκι όλα τα κελιά από το C11 (ή όποιο περιέχει την τιμή του Θ στα δικά σας δεδομένα) μέχρι το τελευταίο που αντιστοιχεί στην τελευταία τιμή θερμοκρασίας. Από το μενού File – Edit – Fill επιλέξτε την αυτόματη συμπλήρωση προς τα κάτω (Down). Παρατηρείστε ότι όλες οι τιμές της στήλης θερμοκρασιών μετασχηματίστηκαν σύμφωνα με την συνάρτηση, η οποία χρησιμοποιήσε για κάθε γραμμή την σωστή τιμή θερμοκρασίας.



Τώρα πλέον μπορείτε να επεξεργαστείτε τα δεδομένα με βάση την εξίσωση (14).

Επιλέξτε την πρώτη και την τρίτη στήλη (χρόνοι και τιμές $\ln \Theta$), επιλέγοντας με το ποντίκι την πρώτη στήλη και κάνοντας control-κλικ στην τρίτη. Στη συνέχεια κάντε γραφική παράσταση κατά τα γνωστά. Θα πρέπει να σας προκύψει ένα διάγραμμα που να μοιάζει αρκετά με ευθεία. Στην ευθεία αυτή πρέπει τώρα να εφαρμόσετε Θεωρία Ελαχίστων Τετραγώνων.

Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων στην ορολογία του Excel ονομάζεται “γραμμή τάσης δεδομένων” (Trendline). Κάντε κλικ πάνω στα δεδομένα της γραφικής παράστασης για να τα επιλέξετε και στη συνέχεια δεξί κλικ πάλι πάνω στα δεδομένα. Εμφανίζεται ένα μενού επιλογών, από το οποίο επιλέγετε το Add Trendline. Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγετε σαν τύπο (Type) το γραμμικό μοντέλο (Linear) και στις προτιμήσεις (Options) επιλέγετε την εμφάνιση των συντελεστών (Display equation on chart).



Πατώντας τώρα OK παρατηρείστε ότι μαζί με τα δεδομένα σας εμφανίζεται και η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων, και η εξίσωσή της με τις τιμές των συντελεστών της.

Με σύγκριση του τύπου της ευθείας $Y = \alpha X + \beta$, της σχέσης (14) και των συντελεστών της ευθείας μπορείτε πλέον να υπολογίσετε την τιμή του συντελεστή λ ή την ειδική θερμότητα (μην ξεχάσετε τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησης!).

