
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

ΠΑΤΡΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2025

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

- 1 Σκοπός
- 2 Θεωρία
 - 2.1 Η θερμοκρασία
 - 2.2 Θερμοηλεκτρικά στοιχεία - θερμοζεύγη
 - 2.3 Ηλιοθερμικά συστήματα
 - 2.4 Λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών
 - 2.5 Νόμος του Netwon
- 3 Πειραματική διάταξη
- 4 Πειραματική διαδικασία
- 5 Πλήρης ομαδική έκθεση
- 6 Βιβλιογραφία

1 Σκοπός

Στην άσκηση αυτή ο φοιτητής εξοικειώνεται με τη χρήση της μέτρησης της θερμοκρασίας διαφόρων σωμάτων έτσι ώστε να προσδιορισθεί ο ρυθμός θέρμανσής και ψύξης τους. Θα γίνει χρήση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος θερμοζευγών τα οποία μέσω υπολογιστή καταγράφουν την θερμοκρασία τεσσάρων ηλιακών συλλεκτών με διαφορετικό χρώμα επικάλυψης, μόνωσης και υαλοπίνακα ώστε να μελετηθεί η επίδραση αυτών των παραμέτρων στον ρυθμό θέρμανσης των συλλεκτών.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

θερμοκρασία, θερμότητα, κλίμακες Celsius και Kelvin, θερμοζεύγη, ηλιακοί συλλέκτες, ηλιοθερμικά συστήματα

2 Θεωρία

2.1 Η θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι η φυσική ιδιότητα που προσδιορίζει βασικά τις έννοιες του ζεστού και του κρύου. Η θερμοκρασιακή κλίμακα που χρησιμοποιείται σήμερα για την μέτρηση της θερμοκρασίας είναι η κλίμακα Celsius (θ σε $^{\circ}\text{C}$). Η θερμοδυναμική εισάγει την απόλυτη θερμοκρασία Kelvin (T σε K) η οποία συνδέεται με την θερμοκρασία Celsius με την σχέση

$$T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 \quad (1)$$

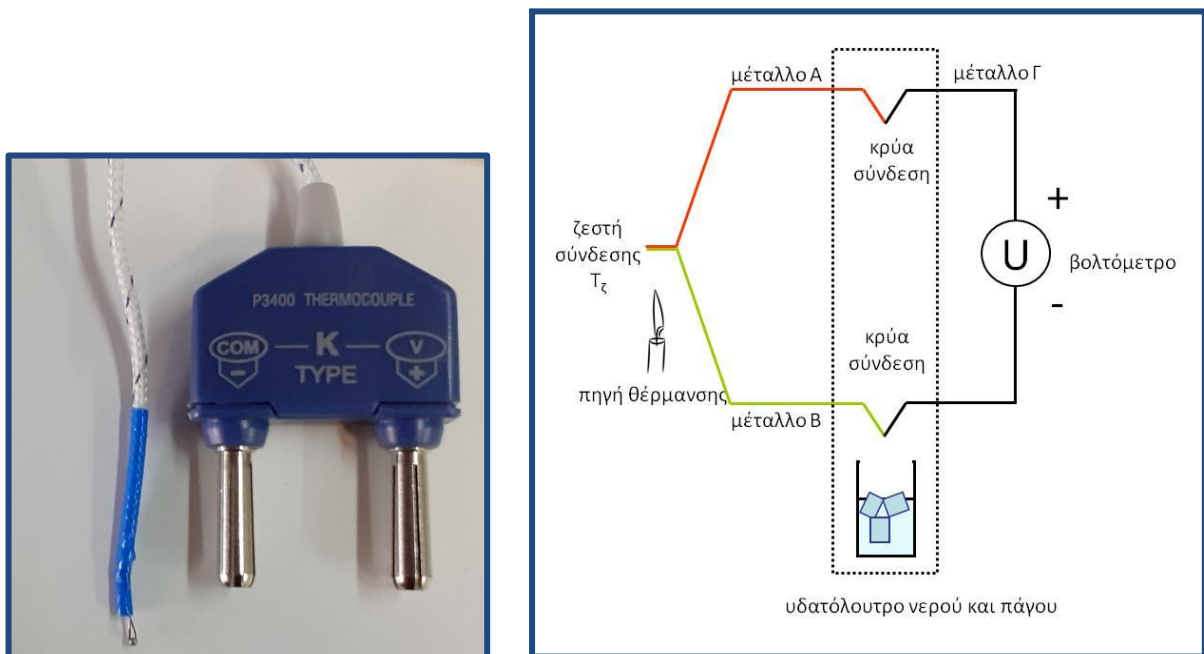
Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται κάποια ιδιότητα των υλικών που εξαρτάται από την θερμοκρασία όπως:

- η διαστολή των στερεών, υγρών και αέριων σωμάτων
- η ηλεκτρική αντίσταση των στερεών σωμάτων
- η ηλεκτρεγερτική δύναμη (ηλεκτρική τάση) ενός ζεύγους μετάλλων
- η ένταση της φωτεινής και θερμικής ακτινοβολίας

2.2 Θερμοηλεκτρικά στοιχεία - θερμοζεύγη

Όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή μεταξύ τους, τότε λαμβάνει χώρα η μετακίνηση ηλεκτρονίων διαμέσου της επαφής των δύο μετάλλων (Σχήμα 4.1). Η κίνηση αυτή είναι από το μέταλλο με το μικρό προς το μέταλλο με το μεγάλο έργο εξόδου. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στα ελεύθερα άκρα των δύο μετάλλων. Αυτή η διαφορά δυναμικού V εξαρτάται αφενός από το είδος των δυο μετάλλων (ή κραμάτων) αλλά και από την (κοινή) θερμοκρασία τους και έτσι μπορεί να μεταφραστεί σε θερμοκρασία με την κατάλληλη βαθμονόμηση.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, κατά την μέτρηση της διαφοράς δυναμικού V με ένα βολτόμετρο, εμφανίζεται το εξής πρόβλημα: όταν οι ελεύθερες επαφές των δύο μετάλλων Α και Β έρθουν σε επαφή με τα σύρματα του βολτομέτρου (μέταλλο Γ), αμέσως δημιουργούνται δύο ακόμη νέες επαφές (διεπιφάνειες μετάλλων) στο όλο κύκλωμα (Σχήμα 1), οι ΑΓ και ΒΓ, οπότε προστίθενται και δυο νέες τάσεις, έστω V_1 και V_2 οι οποίες εξαρτώνται από την τοπική θερμοκρασία αυτών των νέων επαφών. Αν όμως η αρχική επαφή του θερμοζεύγους βρίσκεται στη θερμοκρασία T_1 ενώ οι δύο άλλες επαφές σε μία σταθερή θερμοκρασία αναφοράς T_2 (π.χ. υδατόλουτρο νερού και πάγου στους 0°C), τότε οι V_1 και V_2 παραμένουν σταθερές και μπορούν με κατάλληλη ρύθμιση να αλληλοεξουδετερωθούν (έχουν αντίθετη πολικότητα) έτσι ώστε το βολτόμετρο να ανιχνεύει μόνο την V . Η σταθερή θερμοκρασία αναφοράς (zero-point) μπορεί να ελεγχθεί και από ειδικά όργανα, τα οποία διατηρούν τη θερμοκρασία σταθερή με μια ηλεκτρική αντίσταση. Τα σύγχρονα όργανα έχουν πλέον σταθερή την θερμοκρασία αναφοράς. Τα απόλυτα σφάλματα στις μετρήσεις των θερμοζευγών είναι της τάξης των $0,001\text{ mV}$.



Σχήμα 1: Κύκλωμα θερμοστοιχείων για μέτρηση διαφοράς θερμοκρασιών μεταξύ δυο μετάλλων

2.3 Ηλιοθερμικά συστήματα

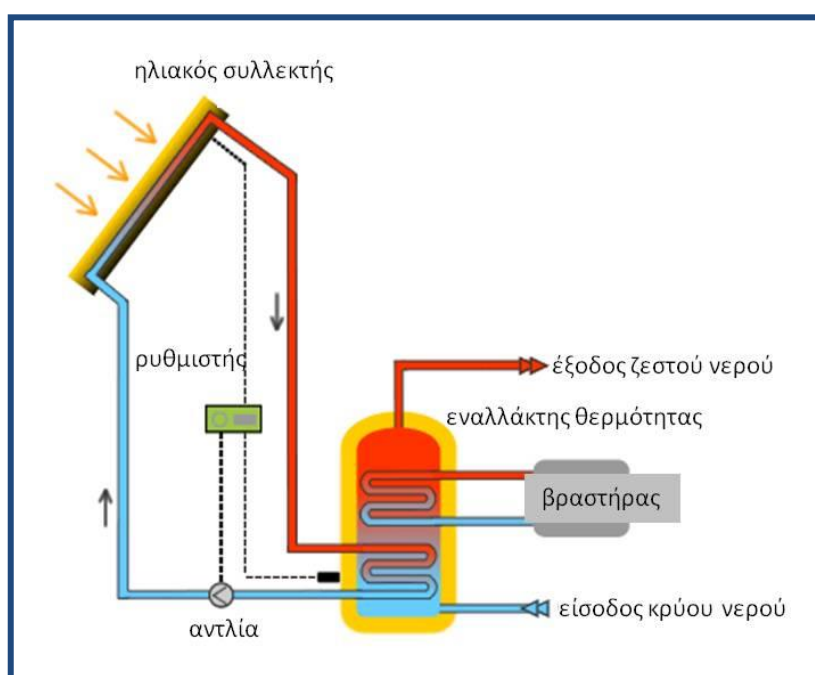
Τα ηλιοθερμικά συστήματα συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια. Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιοθερμικών συστημάτων και η διαφορά τους έγκειται στο ποσό θερμότητας που μπορούν να παράξουν.

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας είναι η απλούστερη και η γνωστότερη ηλιακή συσκευή που ζεσταίνει νερό χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που έχουν μεγάλη

ηλιοφάνεια, όπως για παράδειγμα στις χώρες της Μεσογείου. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ανεξάρτητα από το είδος τους, αποτελούνται από δύο βασικά μέρη:

- Το τμήμα συλλογής που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες οι οποίοι στην ουσία είναι επιφάνειες απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Τη δεξαμενή αποθήκευσης του νερού.
- Ένα εναλλάκτη θερμότητας

Ένα ηλιοθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας (συνδυασμός ηλιακών συλλεκτών με ένα ηλεκτρικό βραστήρα), φαίνεται στο Σχήμα 2. Ο βραστήρας χρησιμοποιείται σε ημέρες με χαμηλή ηλιοφάνεια ως εναλλακτική πηγή θερμότητας).



Σχήμα 2: Ηλιοθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας – Συνδυασμός ηλιακών συλλεκτών με ένα βραστήρα.

2.4 Λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών

Η λειτουργία των συλλεκτών του ηλιακού θερμοσίφωνα βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Καταρχήν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στην (συνήθως μαύρη) απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας της θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (η ζέστη) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και

το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού, που είναι σ' επαφή με την πλάκα.

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι

- η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία
- ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και
- η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη.

Τα υλικά που προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης-τιμής είναι γυαλί και επιφάνεια από αλουμίνιο ή χαλκό, χρωματισμένη με μαύρο χρώμα.

2.5 Νόμος ψύξης του Netwon

Ένα σώμα το οποίο έχει θερμοκρασία θ διάφορη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος θ_π , τότε θα ανταλλάξει θερμότητα με το περιβάλλον (θα απορροφήσει ή θα αποβάλλει θερμότητα), κυρίως μέσω συναγωγής και ακτινοβολίας. Γενικά, ο ρυθμός θέρμανσης dQ/dt (ή ψύξης εάν είναι αρνητικός) του σώματος, όπου Q είναι το ποσό θερμότητας του σώματος και t ο χρόνος, είναι ευθέως ανάλογος της διαφοράς θερμοκρασίας $\theta - \theta_\pi$ (μέσα σε ορισμένα όρια). Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως ο «νόμος ψύξης του Netwon» στη θερμότητα και ποσοτικώς περιγράφεται από την εξίσωση

$$dQ/dt = -hA(\theta - \theta_\pi) \quad (2)$$

όπου το A είναι το εμβαδό της διεπιφάνειας μέσα από την οποία ρέει η θερμότητα (π.χ. για ένα δωμάτιο, είναι απλά το εμβαδό του ανοικτού παραθύρου του, για ένα ρόφημα μέσα σε μια κεραμική κούπα είναι κυρίως η πάνω επιφάνεια του ροφήματος ενώ για ένα καλοριφέρ, είναι όλη η εξωτερική επιφάνεια του) και h είναι μια σταθερά που είναι χαρακτηριστική του σώματος (εξαρτάται π.χ. από τα υλικά, τη γεωμετρία, το ρευστό ανταλλαγής θερμότητας κ.α.). Μεγάλες απώλειες σημαίνουν μεγάλη τιμή του h ενώ αντιθέτως ένα σύστημα με ισχυρή μόνωση έχει μικρό h . Ο παραπάνω νόμος του Netwon περιγράφει την φυσική μεταφορά θερμότητας στην περίπτωση που υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος χώρου του. Στην περίπτωση όπου προσδίδεται στο σώμα θερμότητα από κάποια πηγή με σταθερό ρυθμό προσφοράς θερμότητας $\dot{Q}$ (*Joules* ανά *sec*, η τελίτσα επάνω στο σύμβολο σημαίνει ρυθμός), τότε η παραπάνω σχέση πρέπει να τροποποιηθεί σε

$$dQ/dt = -hA(\theta - \theta_\pi) + \dot{Q} \quad (3)$$

Διακρίνουμε τις εξής δυο περιπτώσεις:

(α) Ψύξη

Σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε πηγή θέρμανσης, οπότε ισχύει η Εξ. (2) και η θερμοκρασία θ_π , (σταθερή), είναι χαμηλότερη από την τρέχουσα θερμοκρασία θ . Αρχικά η διαφορά $\theta - \theta_\pi$ είναι μεγάλη και από την (2) αυτό συνεπάγεται έναν γοργό ρυθμό ψύξης dQ/dt . Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία θα ελαττώνεται συνεχώς αλλά ταυτόχρονα αυτό θα συνεπάγεται και μείωση του βαθμού ψύξης. Επομένως περιμένουμε αρχικά μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας οι οποίες οριακά θα πρέπει να μηδενίζονται όσο τείνουμε στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Μια χρήσιμη ιδιότητα ενός υλικού στην θερμοδυναμική είναι η «ειδική θερμότητα» c η οποία ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση

$$Q = mc\Delta T \quad (4)$$

όπου Q είναι το ποσό της θερμότητας που προσφέρεται σε μια ποσότητα μάζας m του υλικού για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ΔT . Ειδικά για το νερό $c = 4.19 J g^{-1} K^{-1}$ που σημαίνει ότι απαιτούνται $4.19 J$ για να ανέβει η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου κατά ένα βαθμό Κελσίου. Αυτό το ποσό είναι ο ορισμός της «θερμίδας cal », δηλαδή εξ' ορισμού $1 cal = 4.19 Joules$. Για άλλα υλικά το c διαφέρει και πρέπει να καταφύγουμε σε πίνακες. Π.χ. για τον χαλκό $c = 0.385 J g^{-1} K^{-1}$ (πιο υλικό θερμαίνεται πιο εύκολα, το νερό ή ο χαλκός;). Με την βοήθεια της διαφορικής μορφής της Εξ. 4 $dQ = mcd\theta$, η Εξίσωση 3 γίνεται:

$$\frac{d\theta}{\theta - \theta_\pi} = -kdt$$

όπου $k = \frac{hA}{mc}$. Με ολοκλήρωση

$$\ln(\theta - \theta_\pi) = -kt + C$$

όπου C είναι η σταθερά ολοκλήρωσης. Εάν στο $t = 0$ η αρχική θερμοκρασία είναι $\theta = \theta_o$, τότε η σταθερά γίνεται $C = \ln(\theta_o - \theta_\pi)$ οπότε και η παραπάνω καταλήγει στο αποτέλεσμα

$$\ln(\theta - \theta_\pi) - \ln(\theta_o - \theta_\pi) = -kt$$

ή

$$\theta = \theta_\pi + (\theta_o - \theta_\pi)e^{-kt} \quad \text{Καμπύλη ψύξης } \theta_o \rightarrow \theta_\pi \quad (5)$$

Η γραφική παράσταση $\theta(t)$ της παραπάνω εξίσωσης έχει την μορφή εκθετικής μείωσης με αρχική τιμή $\theta(0) = \theta_o$ και ασύμπτωτη τιμή την θερμοκρασία περιβάλλοντος $\theta(\infty) \rightarrow \theta_\pi$ αφού για μεγάλους χρόνους το εκθετικό e^{-kt} τείνει στο μηδέν. Επομένως τα μαθηματικά επαληθεύουν την παραπάνω

ποιοτική μας ανάλυση. Πόσο γρήγορα φθίνει το εκθετικό; Απάντηση: Όσο μεγαλύτερος είναι ο παράγοντας k που είδαμε ότι ισούται με hA/mc και επομένως μεγάλα σώματα όπως η θάλασσα ή σώματα με μεγάλη ειδική θερμότητα, αργούν πολύ να ψυχθούν. Αντιθέτως όταν το A είναι μεγάλο, όπως για παράδειγμα όταν έχουμε μεγάλη διεπιφάνεια διαφυγής της θερμότητας ή ο συντελεστής h είναι μεγάλος, όπως σε μια εξαναγκασμένη ροή ρευστού γύρω από ένα θερμό σώμα (ψύξη με εξαερισμό), η ψύξη είναι γοργή.

Η απεικόνιση της (5) σε γραφική παράσταση, είναι μια κλασσική καμπύλη εκθετικής μείωσης. Για μικρά t η καμπύλη αυτή μπορεί να προσεγγιστεί με ευθεία με τη βοήθεια του αναπτύγματος κατά *Taylor* της εκθετικής συνάρτησης μέχρι και τον γραμμικό όρο $e^{-x} \approx 1 - x$. Έτσι προσεγγιστικά έχουμε

$$\theta \approx \theta_{\pi} + (\theta_o - \theta_{\pi})(1 - kt)$$

ή

$$\theta \approx \theta_o - (\theta_o - \theta_{\pi})kt \quad \text{Καμπύλη ψύξης για μικρά } t \quad (6)$$

Από την αρχική κλίση αυτής της ευθείας, μπορεί να προσδιορισθεί το γινόμενο hA που περιέχεται στη σταθερά k , εάν γνωρίζουμε την μάζα του συστήματος και την ειδική του θερμότητα (δείτε επόμενη ενότητα).

(β) Θέρμανση

Σε αυτή την περίπτωση αρχικά $\theta = \theta_{\pi}$ και στο $t = 0$ θέτουμε σε λειτουργία την πηγή που παρέχει σταθερό ρυθμό προσφοράς θερμότητας $\dot{Q}$ και άρα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την Εξ. (3). Χωρίς να λύσουμε αυτήν την διαφορική εξίσωση, μπορούμε ποιοτικώς να καταλάβουμε τι θα γίνει (η πλήρης λύση της δίνεται παρακάτω). Λόγω της αρχικής συνθήκης $\theta = \theta_{\pi}$, ο πρώτος όρος του 2^{ου} μέλους είναι μηδέν και έτσι για μικρούς χρόνους έχουμε προσεγγιστικά

$$\frac{dQ}{dt} \approx \dot{Q}$$

Δουλεύοντας όπως παραπάνω, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ειδική θερμότητα και να γράψουμε:

$$\frac{mcd\theta}{dt} \approx \dot{Q}$$

η οποία ολοκληρώνεται εύκολα και οδηγεί στην

$$\theta \approx \theta_{\pi} + \frac{\dot{Q}}{mc}t \quad \text{Καμπύλη θέρμανσης για μικρά } t \quad (7)$$

Επομένως η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας με τον χρόνο είναι αρχικά γραμμική και από την κλίση μπορούμε να προσδιορίσουμε τον ρυθμό προσφοράς θερμότητας $\dot{Q}$ που προσδίδει η πηγή στο σώμα, εάν γνωρίζουμε την μάζα του και την ειδική του θερμότητα. Όσο όμως αυξάνει η θερμοκρασία, τόσο η διαφορά $\theta - \theta_{\pi}$ αυξάνει και επομένως και στην Εξ. (3) αυξάνει ο όρος $hA(\theta - \theta_{\pi})$ που σημαίνει ότι οι δυο όροι στο δεύτερο μέλος της εξίσωσης συναγωνίζονται, με τον μεν δεύτερο να είναι σταθερός και θετικός, ενώ τον δε πρώτο να είναι αρνητικός και διαρκώς αυξανόμενος κατά μέτρο. Κάποια στιγμή, οι δυο αυτοί ρυθμοί θα εξισωθούν, και έτσι όση θερμότητα κερδίζει το σώμα από την πηγή ανά μονάδα χρόνου, άλλη τόση θα αποβάλλει στο περιβάλλον του επειδή είναι αρκετά θερμό. Αυτό είναι ισοδύναμο με ένα σώμα το οποίο δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του και άρα η θερμοκρασία του θα πρέπει να παραμένει σταθερή και στην πράξη συμβαίνει αυτό, δηλαδή η θερμοκρασία σταθεροποιείται (πιάνει όπως λέμε «πλατό») σε μια τελική στάσιμη οριακή τιμή θ_{σ} την οποία μπορούμε εύκολα να βρούμε εξισώνοντας το πρώτο μέλος της Εξ. (3) με το μηδέν. Καταλήγουμε τότε στο απλό αποτέλεσμα

$$\theta_{\sigma} = \theta_{\pi} + \frac{\dot{Q}}{hA} \quad \text{Οριακή τιμή θερμοκρασίας για μεγάλα } t \quad (8)$$

Επομένως η τελική διαφορά θερμοκρασίας $\Delta\theta = \theta_{\sigma} - \theta_{\pi}$ είναι ευθέως ανάλογη, όπως αναμένεται, από τον ρυθμό προσφοράς θερμότητας $\dot{Q}$ και αντιστρόφως ανάλογη των συντελεστών ψύξης h και A , όπως αυτοί συζητήθηκαν παραπάνω.

Για ενδιάμεσους χρόνους $0 < t < \infty$ όπου δεν ισχύουν οι παραπάνω προσεγγίσεις, η πλήρης λύση της Διαφορικής Εξίσωσης (3) είναι η εξής:

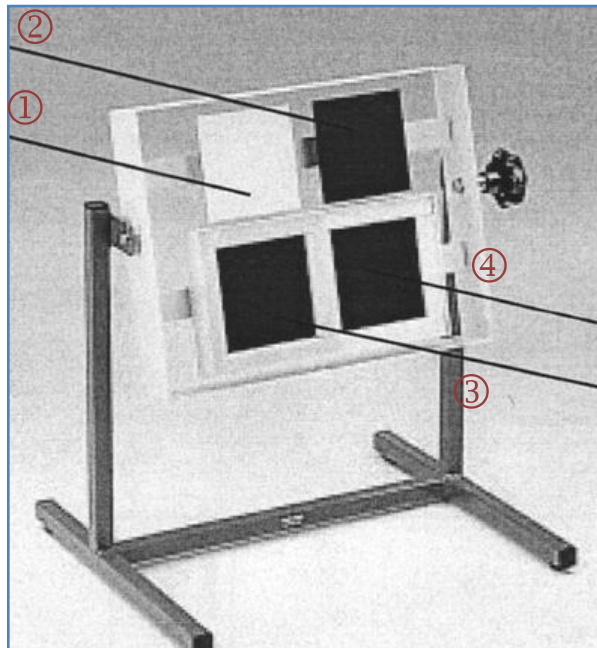
$$\theta = \theta_{\pi} + \frac{\dot{Q}}{hA} (1 - e^{-kt}) \quad \text{Καμπύλη θέρμανσης με αρχική } \theta = \theta_{\pi} \quad (9)$$

Όπου $k = hA/mc$ όπως και πριν. Ο αναγνώστης μπορεί να επαληθεύσει τις παραπάνω δυο προσεγγίσεις (α) για μικρά t με την βοήθεια της προσέγγισης $e^{-x} \approx 1 - x$ και (β) για μεγάλα t με την χρήση του ορίου $e^{-x} \rightarrow 0$.

3 Πειραματική διάταξη

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Ένα πάνελ ηλιακών συλλεκτών με τέσσερις διαφορετικές πλάκες (Σχήμα 3).
2. Όλοι οι απορροφητές (οι πλάκες) αποτελούνται από φύλλα χαλκού. Η πλάκα Νο ① είναι καλυμμένη με λευκό χρώμα, η Νο ② με μαύρο χρώμα, οι Νο ③ και ④ είναι μαύρες πλάκες ενσωματωμένες σε διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ) για θερμομόνωση. Επιπλέον η Νο ④ επικαλύπτεται και με γυαλί για περισσότερη θερμομόνωση. Στο πίσω μέρος της κάθε πλάκας είναι συνδεδεμένο ένα θερμοζεύγος για την καταγραφή της θερμοκρασίας του.
3. Μια λυχνία (λάμπα αλογόνου), με ένταση φωτός ίση με $1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.
4. Μια καταγραφική μονάδα λήψης δεδομένων, το ψηφιακό THERMOMETER OMEGA RDXL4SD (Datalogger, για την ταυτόχρονη μέτρηση τεσσάρων θερμοκρασιών (Σχήμα 4).



Σχήμα 3: Πεδίο ηλιακών συλλεκτών με τέσσερις διαφορετικές πλάκες

- ① καλυμμένη με λευκό χρώμα
- ② καλυμμένη με μαύρο χρώμα
- ③ μαύρη πλάκα ενσωματωμένη σε διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ)
- ④ μαύρη πλάκα ενσωματωμένη διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ) και καλυπτόμενη με γυαλί



Σχήμα 4: ψηφιακό THERMOMETER OMEGA RDXL4SD

4 Πειραματική διαδικασία

- 1) Βεβαιωνόμαστε ότι τα θερμοζεύγη είναι συνδεδεμένα με την καταγραφική μονάδα (Datalogger, σχήματα 5 και 6). Ελέγχουμε και σημειώνουμε ποια πλάκα αντιστοιχεί σε ποιο κανάλι του Datalogger.
- 2) Ρυθμίζουμε στην καταγραφική μονάδα το scan rate (ρυθμός λήψης δεδομένων π.χ. 1 μέτρηση ανά 10 δεύτερα). Βεβαιωνόμαστε, ότι η κλίμακα μέτρησης είναι σε $^{\circ}\text{C}$, ότι το θερμοζεύγος τύπου «K» είναι ενεργοποιημένο και ότι η κάρτα μνήμης (memory card) είναι μέσα στη θήκη της.

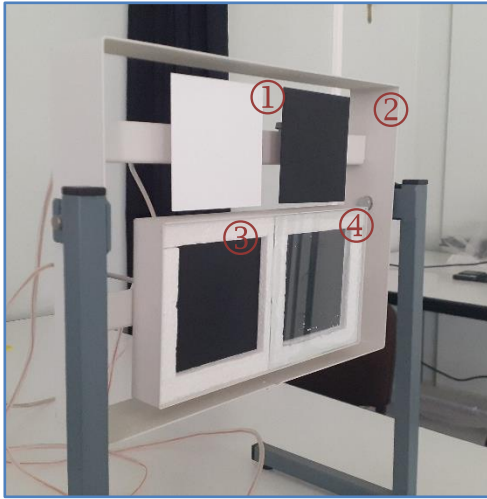


Σχήμα 5: Πειραματική διάταξη – οθόνη της καταγραφικής μονάδας, Datalogger με τέσσερα κανάλια

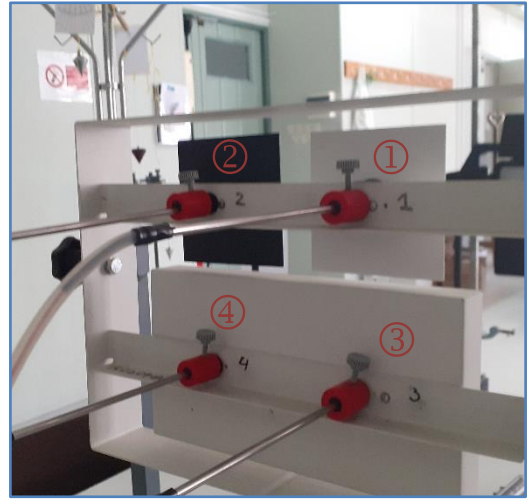


Σχήμα 6: Πειραματική διάταξη – Η είσοδος της καταγραφικής μονάδα με 4 κανάλια

- 3) Ελέγχουμε τη τοποθέτηση του θερμοζεύγους (K-type) στο πίσω μέρος του κάθε ηλιακού συλλέκτη (Σχήματα 7 και 8). Τα θερμοζεύγη πρέπει να είναι σε καλή επαφή με τους ηλιακούς συλλέκτες.
- 4) Ρυθμίζουμε την θέση του πάνελ των ηλιακών συλλεκτών. Η απόσταση από την λυχνία δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 100 cm. Επίσης η λυχνία πρέπει να είναι έτσι προσανατολισμένη ώστε να ρίχνει ισοδύναμη ακτινοβολία και στις τέσσερις πλάκες οπότε την ρυθμίζουμε κατάλληλα τόσο κατά ύψος όσο και αριστερά – δεξιά.



Σχήμα 7: Πειραματική διάταξη – πίσω όψη, προς την λυχνία



Σχήμα 8: Πειραματική διάταξη – μπροστινή όψη, προς τον παρατηρητή

Έτσι τα δεδομένα μας (θερμοκρασία και χρόνος) δεν χρειάζεται να καταγράφονται από εμάς αφού αυτό γίνεται αυτομάτως από το Datalogger. Παρόλα αυτά, θα πρέπει και οι φοιτητές να καταγράφουν κάθε δυο λεπτά και τις δικές τους μετρήσεις ώστε σε περίπτωση που ο Datalogger έχει κάποιο πρόβλημα, να υπάρχουν μετρήσεις. Σημειώστε καθαρά ποιο κανάλι του Datalogger αντιστοιχεί σε ποιο θερμοζεύγος.

Η καταγραφή ξεκινάει μόλις πατήσουμε το κουμπί «**REC**» και μετά το «**LOGGER OFFSET**» με την λυχνία ακόμα εκτός λειτουργίας. Θα πάρουμε μερικές αρχικές τιμές της θερμοκρασίας των τεσσάρων πλακών μέχρι αυτές να έχουν σταθεροποιηθεί (και τις οποίες μπορείτε να τις διαγράψετε αργότερα, όταν ετοιμάζετε την αναφορά). Ενεργοποιούμε την λυχνία στον χρόνο $t_{αρχή}$.

Συλλέγουμε δεδομένα θερμοκρασίας – χρόνου μέχρι οι δυο πλάκες **No 1** και **No 2** να έχουν φτάσει καθαρά σε θερμοκρασία κορεσμού (οι τιμές της θερμοκρασίας τους πρακτικά να μη μεταβάλλονται για ένα διάστημα 2 – 5 min). Σβήνουμε τη λυχνία στον χρόνο $t_{τέλος}$.

Εξακολουθήσουμε να καταγράφουμε δεδομένα και για τα επόμενα 10 – 20 λεπτά (διαδικασία ψύξης). Η καταγραφή τελειώνει μόλις πατήσουμε το κουμπί το «**LOGGER OFFSET**» και μετά «**REC**». Αντιγράφουμε τα δεδομένα από την κάρτα μνήμης στον σκληρό δίσκο μας.

5 Πλήρης ομαδική έκθεση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ -

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ/ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ -ΣΥΜΒΟΛΑ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -

ΠΑΡΑΤΗΜΑ (φύλλο μετρήσεων)

Κάθε ομάδα παραδίδει μια έκθεση, η οποία περιλαμβάνει

- a. το αρχείο EXCEL και
- b. το υπόλοιπο γραπτό (με τις γραφικές παραστάσεις!) σε μορφή pdf.

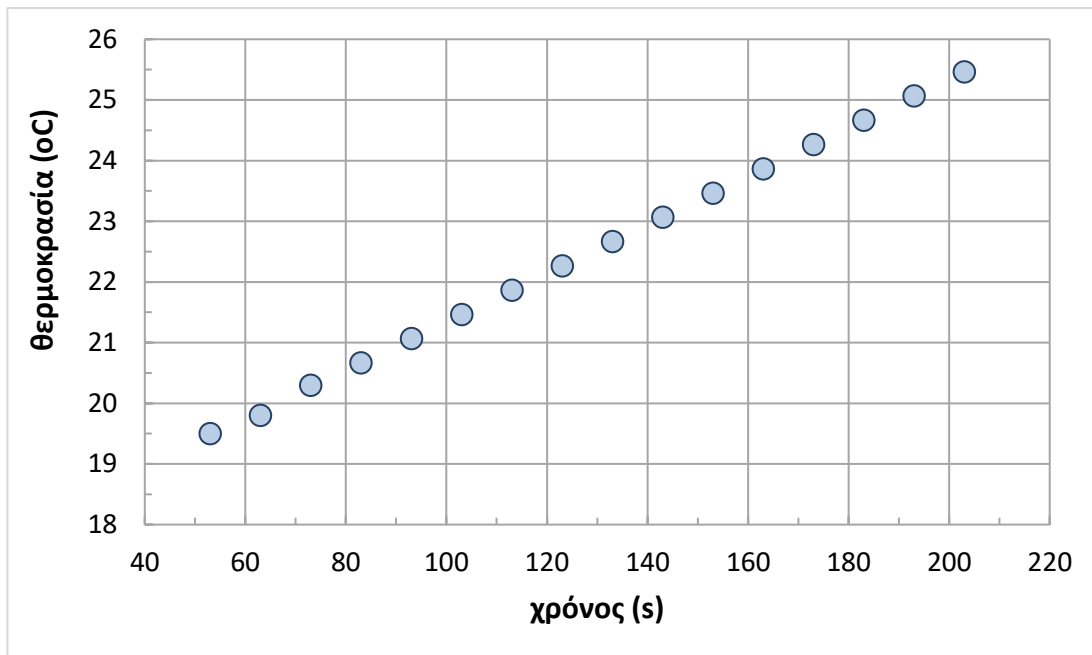
Η τελική μορφή της έκθεσής θα πρέπει να ακολουθεί πιστά τις οδηγίες συγγραφής που δίνονται στα «Έγγραφα» στις [ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓ 2023](#).

Κάθε έκθεση ελέγχεται για λογοκλοπή με το πρόγραμμα [Turnitin](#). Σε περίπτωση [λογοκλοπής](#) άνω του 30%, η έκθεση θα αξιολογηθεί με 0/10.

- ✓ Το όνομα του αρχείου περιέχει μόνο το αντίστοιχο τμήμα και τον αριθμό μητρώου των συμμετεχόντων φοιτητών, για παράδειγμα τμήμα Α1 και ΑΜ = 1020875, 103567 -> Α1-1020875-103567.pdf.
- ✓ Η ομαδική εργασία μεταφορτώνεται **μόνο** από **ένα μέλος** της ομάδας.
- ✓ Η εργασία θα παραδίνεται αυστηρά μέχρι μια εβδομάδα μετά την εκτέλεση της άσκησης ηλεκτρονικά μέσω του eclass «Εργασίες» στο πλαίσιο της σχετικής άσκησης. Εάν δεν τηρηθεί η προθεσμία, θα αφαιρεθούν πόντοι.
- ✓ Κατά προτίμηση, οι εργασίες πρέπει να ανεβαίνουν σε μορφή PDF. Τα σχόλια του βαθμολογητή μπορούν να φανούν μόνο σε υπολογιστή με εφαρμογή που ανοίγει τέτοιου είδους αρχεία, όπως το Adobe Reader και όχι σε φυλλομετρητές του διαδικτύου ή σε κινητά. Εκεί τα σχόλια δεν εμφανίζονται ορθά.

Ζητούνται τα ακόλουθα στο κεφάλαιο «Θεωρητικό μέρος»:

- (1) Εξηγείστε σύντομα τις έννοιες θερμοκρασία και θερμότητα.
- (2) Αναφέρατε τα είδη μεταφοράς θερμότητας που γνωρίζετε.
- (3) Πάρτε για την ειδική θερμότητα του χαλκού $c = 0.385 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Για μια πλάκα 100 g πάρθηκαν οι εξής μετρήσεις κατά το αρχικό στάδιο θέρμανσής της με φωτεινή ακτινοβολία από μια ισχυρή λυχνία φωτός. Να βρεθεί από την γραφική παράσταση ο ρυθμός θέρμανσης Q, που λαμβάνει η πλάκα από την λυχνία.



Ζητούνται τα ακόλουθα στο κεφάλαιο «πειραματικό μέρος»:

- ✓ Σχεδιάστε ένα σχηματικό διάγραμμα του όλου πειράματος είτε με το χέρι είτε με ένα λογισμικό πρόγραμμα (σκίτσο). Μην εκτυπώνετε σχήματα ή φωτογραφίες από τις σημειώσεις.
- ✓ Παρουσιάστε την πειραματική διαδικασία με την μορφή απλών βημάτων.
- ✓ Το κείμενο να γράφεται στο 3^ο πρόσωπο.
- ✓ Το πειραματικό μέρος δεν περιέχει εξισώσεις, θεωρία ή αποτελέσματα.

Ζητούνται τα ακόλουθα στο κεφάλαιο «αποτελέσματα»:

- (1) Να γίνουν δυο **κοινές** γραφικές παραστάσεις της διαφοράς της θερμοκρασίας $\Delta\theta = \theta(t) - \theta(t = 0)$ συναρτήσει του χρόνου (t σε *min*) (αντιγραφή – επικόλληση από το αρχείο Excel το οποίο πρέπει επίσης να ανεβάσετε μαζί με την εργασία)
 - a. μία για την θέρμανση και
 - b. μία για την ψύξη της κάθε πλάκας.

Προσοχή: Ζητάμε **κοινό διάγραμμα** με τις 4 καμπύλες (μία για την κάθε πλάκα) για να μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων. Μεμονωμένα διαγράμματα δεν θα γίνουν δεκτά. Επίσης προσέξτε το $t = 0$ να αντιστοιχεί στην αρχή της θέρμανσης (στην 1^η γραφική παράσταση) και στην αρχή της ψύξης (στη 2^η γραφική παράσταση).

- (2) Από το αρχικό γραμμικό μέρος των καμπυλών (επιλέξτε ένα κατάλληλο εύρος, π.χ. μετά τα πρώτα 2 – 3 λεπτά που καθυστερεί το σύστημα να ανταποκριθεί μέχρι και μερικά λεπτά αργότερα ώστε να έχετε μια καλή ευθεία), να υπολογιστεί ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας ανά μονάδα χρόνου **για την θέρμανση και την ψύξη**

Θα σας βοηθούσε εάν κατασκευάζατε ένα νέο βοηθητικό γράφημα μόνο με τις μετρήσεις του γραμμικού μέρους της καμπύλης για τον υπολογισμό του αρχικού ρυθμού, το οποίο δεν είναι απαραίτητο να το συμπεριλάβετε στην έκθεσή σας. Επάνω σε αυτή τη γραφική παράσταση να φαίνεται ο συντελεστής συσχέτισης, R^2 , (εντολή του Excel) και η κλίση της ευθείας. Να γίνει το ίδιο και για τον αρχικό ρυθμό ψύξης.

(3) Καταγράψτε (ή εκτυπώσετε) τα τελικά αποτελέσματα στην μορφή του παρακάτω πίνακα.

	Θέρμανση			Ψύξη		
	$\theta_{\text{τελικό}} (^{\circ}\text{C})$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} \left(\frac{\text{K}}{\text{min}} \right)$	R^2	$\theta_{\text{τελικό}} (^{\circ}\text{C})$	$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} \left(\frac{\text{K}}{\text{min}} \right)$	R^2
Π1						
Π2						
Π3						
Π4						

R^2 = συντελεστής συσχέτισης

Π1 καλυμμένη με λευκό χρώμα

Π2 καλυμμένη με μαύρο χρώμα

Π3 μαύρη πλάκα ενσωματωμένη σε διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ)

Π4 μαύρη πλάκα ενσωματωμένη σε διογκωμένη πολυστερίνη (φελιζόλ) που καλύπτεται με γυαλί

(4) Εξηγείστε την διαφορά που παρατηρείτε μεταξύ των τεσσάρων πλακών με βάση τον πίνακα (2). Συγκεκριμένα συμπληρώστε με τη μορφή ανίσωσης (π.χ. $A > B > \Gamma > \Delta$) τον παρακάτω πίνακα του οποίου οι γραμμές αντιστοιχούν στις εξής ερωτήσεις:

- (α) Ποια πλάκα έχει μεγαλύτερο αρχικό ρυθμό θέρμανσης (πρώτα 2 – 10 λεπτά);
- (β) Ποια πλάκα φτάνει σε υψηλότερη θερμοκρασία;
- (γ) Ποια πλάκα έχει τον μεγαλύτερο αρχικό ρυθμό ψύξης (πρώτα 2 – 10 λεπτά) και
- (δ) Ποια πλάκα φτάνει σε χαμηλότερη τελική θερμοκρασία.

	Ανίσωση (χρησιμοποιήστε το σύμβολο «Π1» για την πλάκα 1, «Π2» για την πλάκα 2 κ.ό.κ.)
(α)	
(β)	
(γ)	
(δ)	

- (5) Προσπαθήστε με την βοήθεια των Εξισώσεων (3) έως (8) να εξηγήσετε τις ποιοτικές σας παρατηρήσεις (Σημείωση: Η ειδική θερμότητα c και η ακτινοβολούμενη επιφάνεια A και των τεσσάρων πλακών είναι περίπου η ίδια, αυτό όμως δεν ισχύει για το h).
- (6) Αναφέρατε τα απόλυτα σφάλματα και τυχόν συστηματικά σφάλματα (σε αριθμούς και μονάδες) που εμφανίζονται στις μετρήσεις σας.

ΜΠΟΝΟΥΣ

Επιπλέον μονάδες θα δοθούν για τις εργασίες όπου θα γίνουν τα εξής:

- (α) Εύρεση (με την βοήθεια υπολογιστικών πακέτων) της βέλτιστης εκθετικής συνάρτησης που περνάει από τα δεδομένα των γραφικών παραστάσεών σας (data fit) κατά την θέρμανση των πλακών Π3 και Π4 ώστε να προσδιορισθεί από αυτήν η οριακή θερμοκρασία θ_σ .
- (β) Ομοίως για την ψύξη των Π1 και Π2 ώστε να προσδιορισθεί ο χρόνος που η διαφορά θερμοκρασίας $\theta - \theta_\pi$ φτάνει στο ποσοστό e^{-5} της αρχικής της τιμής.

6 Βιβλιογραφία

- [1] Π. Γιαννούλης «Νέες πηγές ενεργείας», Εκδόσεις Παν/μίο Πατρών, Πάτρα 1990.
- [2] [Ηλιακός Κλιματισμός](#)
- [3] [ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ 2021 - Δ ΚΟΥΖΟΥΔΗΣ](#)
- [4] [ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ 2023](#)