

1<sup>η</sup> ΑΣΚΗΣΗ  
ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΠΛΟ ΤΟΙΧΩΜΑ

**Σκοπός της άσκησης**

Η κατανόηση της χρήσης της εξίσωσης Fourier στον προσδιορισμό του ρυθμού Μετάδοσης Θερμότητας, διαμέσου στερεού σώματος, για μονοδιάστατη και μόνιμη ροή.

**Α. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

Δύο επιφάνειες, διαφορετικών θερμοκρασιών, ίδιου υλικού, ευρισκόμενες σε άμεση επαφή, δύνανται να θεωρηθούν ως ένα ομοιογενές σώμα ομοιόμορφης διατομής και υλικού.

Σύμφωνα με το **Νόμο Fourier**:

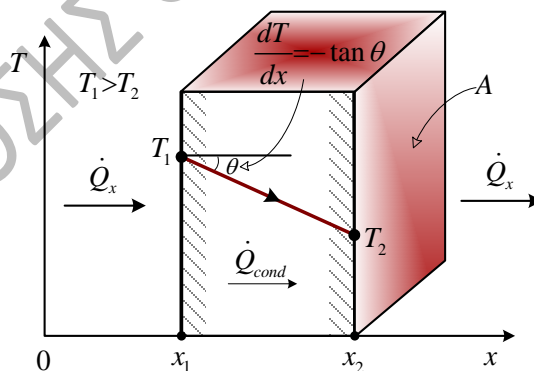
Η ροή θερμότητας σε επίπεδο τοίχωμα (όπως αυτό του Σχήματος 1), πάχους  $L$  και σταθερής επιφάνειας  $A$ , όταν η θερμοκρασιακή διαφορά είναι  $\Delta T$ , δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{Q} \propto A \frac{\Delta T}{L}$$

όπου  $L = x_2 - x_1$  και  $\Delta T = T_2 - T_1$ .

Εάν το υλικό του τοιχώματος είναι ομοιογενές με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $k$ , τότε:

$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$



**Σχήμα 1:** Μεταφορά θερμότητας με αγωγιμότητα διαμέσου στερεού τοιχώματος

Το αρνητικό πρόσημο ακολουθεί τη θερμοδυναμική σύμβαση, ότι η ροή θερμότητας θεωρείται θετική κατά τη διεύθυνση πτώσης της θερμοκρασίας (αντίθετη της θερμοκρασιακής κλίσης). Στους υπολογισμούς παρακάτω θα αγνοηθεί.

Δύο επιφάνειες, διαφορετικών θερμοκρασιών, ίδιου υλικού, ευρισκόμενες σε άμεση επαφή, δύνανται να θεωρηθούν ως ένα ομοιογενές σώμα, ομοιόμορφης διατομής και υλικού.

Στην πραγματικότητα, στη διεπιφάνεια επαφής των υλικών, δημιουργούνται κενά, λόγω της τραχύτητάς τους, τα οποία, συνήθως, πληρούνται με αέρα. Εάν τα υλικά, διαθέτουν μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας από τον αέρα, τότε ο τελευταίος λειτουργεί ως μονωτικό, ενδιάμεσα στα υλικά, εισάγοντας μία επιπλέον αντίσταση στο θερμικό κύκλωμα, η οποία καλείται **Αντίσταση Επαφής**,  $R_c$  και υπολογίζεται από τη σχέση (2):

$$R_c = \frac{\Delta T_{interface}}{\dot{Q}/A} \left( \frac{m^2 K}{W} \right) \quad (2)$$

όπου  $\Delta T_{interface}$ , η διαφορά θερμοκρασίας στη διεπιφάνεια των υλικών.

$\dot{Q}/A$ , η ροή θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας.

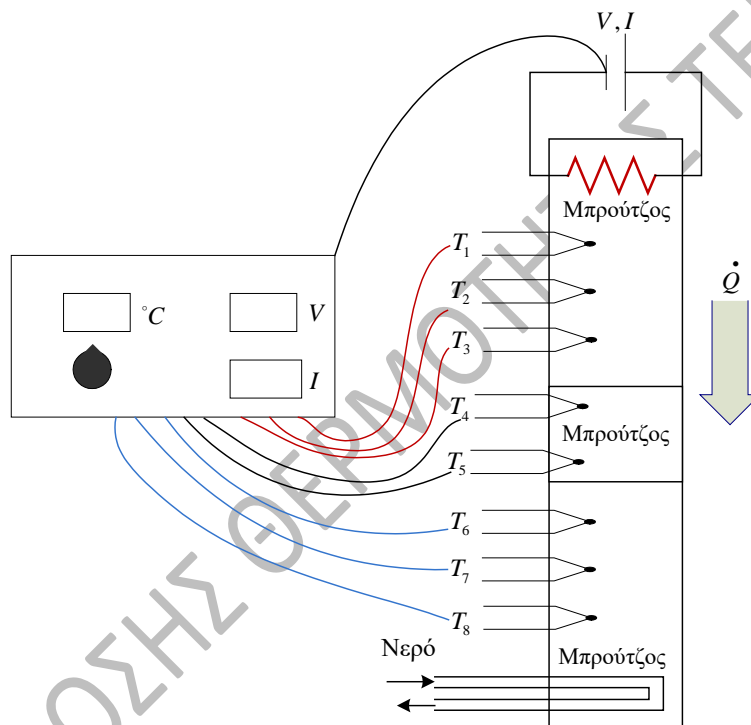
Η αντίσταση επαφής εξαρτάται από την τραχύτητα και τις ιδιότητες των υλικών, καθώς επίσης, και από τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης στη διεπιφάνεια επαφής, όπως και από το είδος του ρευστού, που παγιδεύεται στη διεπιφάνεια.

## Β. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Περιγραφή Συσκευής

Η μονάδα είναι κατάλληλα κατασκευασμένη για τη διερεύνηση των βασικών νόμων της μονοδιάστατης Μετάδοσης Θερμότητας με αγωγιμότητα διαμέσου ενός στερεού. Η μονάδα είναι εξαρτώμενη από μία κύρια συσκευή για την τροφοδοσία της και τη μέτρηση των θερμοκρασιών.

Η διάταξη είναι κυλινδρικού σχήματος, στερεωμένη σε πλαστική βάση, η οποία τοποθετείται στο αριστερό μέρος της κύριας συσκευής. Το θερμαινόμενο μέρος είναι ένα μπρούτζινο δοκίμιο διαμέτρου 25mm, με διάταξη θέρμανσης στο επάνω μέρος του, με μέγιστη ισχύ 65W στα 240V και με προστασία υπερθέρμανσης.



**Σχήμα 2:** Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής συσκευής

Η δημιουργούμενη ροή θερμότητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\dot{Q} = VI \quad (3)$$

Τρία σταθερά θερμοζεύγη  $T_1, T_2, T_3$  είναι τοποθετημένα κατά μήκος του θερμαινόμενου δοκιμίου σε διαστήματα των 15mm.

Το ψυχόμενο μέρος είναι επίσης κατασκευασμένο από μπρούτζο διαμέτρου 25mm, ο οποίος ψύχεται στο κάτω μέρος του με τη βοήθεια κυκλοφορίας νερού. Τρία σταθερά θερμοζεύγη  $T_6, T_7, T_8$  είναι τοποθετημένα κατά μήκος του ψυχόμενου δοκιμίου, σε διαστήματα των 15mm. Η παροχή του νερού ρυθμίζεται χειροκίνητα.



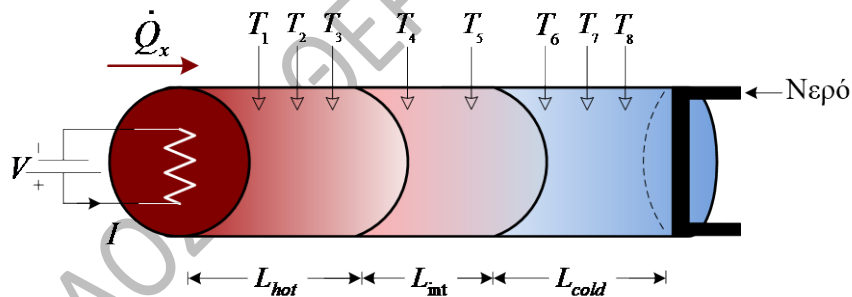
**Σχήμα 3:** Φωτογραφία του τοιχώματος και του πάνελ της πειραματικής συσκευής

Η συσκευή συνοδεύεται από μπρούτζινο δοκίμιο διαμέτρου 25mm, το οποίο τοποθετείται μεταξύ του θερμαινόμενου και του ψυχόμενου μέρους της διάταξης και φέρει δύο θερμοζεύγη ( $T_4$ ,  $T_5$ ). Το δημιουργούμενο ομοιογενές τοίχωμα φέρει 8 θερμοζεύγη, τοποθετημένα ανά 15mm. Δακτύλιοι τύπου “Ο” εξασφαλίζουν την ομοαξονική τοποθέτηση όλων των μερών, που συνιστούν το τοίχωμα.

### Πορεία Εργασίας

Τοποθετήστε θερμοαγώγιμη πάστα σε μία από τις δύο διεπιφάνειες επαφής της θερμαινόμενης και της ψυχόμενης διατομής και συσφίξτε τις δύο επιφάνειες, παρεμβάλλοντας μεταξύ τους το δοκίμιο από μπρούτζο.

Σχηματικά, η διάταξη αυτή απεικονίζεται όπως παρακάτω:



**Σχήμα 4:** Σχηματική απεικόνιση του μπρούτζινου τοιχώματος της πειραματικής συσκευής

Ρυθμίστε τη θερμοκρασία του νερού ψύξης στον κρουστάτη στους  $\sim 15^\circ\text{C}$ . Αφού βεβαιωθείτε ότι υπάρχει ροή νερού, θέστε την τάση του θερμαντικού σώματος στα  $\sim 100\text{V}$ . Στόχος είναι να υπάρχει ικανοποιητική θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ψυχόμενου και θερμαινόμενου άκρου.

Παρακολουθείτε τις τιμές των θερμοκρασιών  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ,  $T_8$  και καταγράψτε στον Πίνακα Μετρήσεων τις τιμές τους, όταν σταθεροποιηθούν. Σημειώστε επίσης, τις τιμές της τάσης και έντασης του ρεύματος.

Αυξήστε την τάση στο θερμαντικό σώμα κατά  $\sim 35\text{V}$  και καταγράψτε στον Πίνακα Μετρήσεων τις ίδιες σταθεροποιημένες τιμές, όπως παραπάνω. Ομοίως και για την 3<sup>η</sup> μέτρηση. Προσοχή: η θερμοκρασία  $T_1$  να μην υπερβεί τους  $100^\circ\text{C}$ .

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία μειώστε την τάση στα 0V και διατηρήστε τη ροή ύδατος, μέχρι το δοκίμιο να ψυχθεί.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Μέτρηση Α/Α	$T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_4$ (°C)	$T_5$ (°C)	$T_6$ (°C)	$T_7$ (°C)	$T_8$ (°C)	V (Volt)	I (Amp)
1										
2										
3										
Απόσταση από $T_1$ (m)	0.000	0.015	0.030	0.045	0.060	0.075	0.090	0.105	-	-

#### Δεδομένα:

- ❖ Διάμετρος δοκιμίων μπρούτζου  $D=25\text{mm}$
- ❖ Μήκος μπρούτζινων δοκιμίων:  $L_{hot}=L_{cold}=37.5\text{mm}$
- ❖ Μήκος παρεμβαλλόμενου μπρούτζινου δοκιμίου:  $30\text{mm}$

### Γ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Να υπολογισθούν τα μεγέθη του Πίνακα Υπολογισμών και να συμπληρωθεί ο Πίνακας κατάλληλα. Να δοθεί ένα παράδειγμα υπολογισμού για κάθε μέγεθος.

### ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Μέτρηση Α/Α	$\dot{Q}$ (W)	$\Delta T_{1-3}$ hot (K)	$\Delta T_{4-5}$ int (K)	$\Delta T_{6-8}$ cold (K)	$\Delta x_{1-3}$ hot (m)	$\Delta x_{4-5}$ int (m)	$\Delta x_{6-8}$ cold (m)	$k_{1-3}$ hot (W/m·K)	$k_{4-5}$ int (W/m·K)	$k_{6-8}$ cold (W/m·K)
1										
2										
3										

2. Να παρασταθεί γραφικά η θερμοκρασία ως συνάρτηση της απόστασης των θερμοζευγών από το θερμοζεύγος  $T_1$ , για τις τρεις διαφορετικές τιμές ροής θερμότητας, στο ίδιο σύστημα αξόνων και να βρεθούν οι αντίστοιχες εξισώσεις θερμοκρασιακής διανομής.
3. Να υπολογισθεί η αντίσταση επαφής στις δύο διεπιφάνειες για τη 2<sup>η</sup> σειρά μετρήσεων και να σχολιασθούν τα αποτελέσματα.
4. Να υπολογισθεί το ισοδύναμο μήκος μπρούτζινου δοκιμίου, η θερμική αντίσταση του οποίου, ισούται με την υπολογιζόμενη, από το ερώτημα (3), αντίσταση επαφής.
5. Να διατυπώσετε τις παρατηρήσεις σας από το διάγραμμα θερμοκρασιακής διανομής.
6. Να διατυπώσετε τις παρατηρήσεις σχετικά με την τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $k$ . Που μπορεί να οφείλονται οι διαφορές μεταξύ των υπολογιζόμενων τιμών; Να γίνει σύγκριση με τις τιμές από τη βιβλιογραφία.