

Νόμος Wiedemann-Franz

Στα μέταλλα, η θερμότητα μεταφέρεται κυρίως από τα ηλεκτρόνια. Εξ αιτίας αυτού, η θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα συνδέονται μεταξύ τους. Το φαινόμενο ονομάζεται Νόμος Wiedemann-Franz.

Στο πείραμα αυτό, ο σκοπός μας είναι να μετρήσουμε τις θερμικές και ηλεκτρικές ιδιότητες διαφόρων μετάλλων με μια επαρκώς μεγάλη ακρίβεια. Στο Μέρος Α, θα μετρήσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα του χαλκού (copper), του μπρούτζου (brass) και του αλουμινίου (aluminum). Στο Μέρος Β θα μετρήσουμε τη θερμική αγωγιμότητα του χαλκού. Στο Μέρος C, θα μετρήσουμε τη ειδική θερμότητα του χαλκού. Στο Μέρος D, θα μετρήσουμε τη θερμική αγωγιμότητα του μπρούτζου και του αλουμινίου. Τέλος, στο Μέρος Ε, θα επιβεβαιώσουμε τη γενική σχέση μεταξύ των δύο αυτών ιδιοτήτων για τα μέταλλα που θα έχουμε μελετήσει.

Σε αυτό το πείραμα δεν οφείλτε να εκτελέσετε υπολογισμούς σφαλμάτων.

Σημειώστε ότι στα Μέρη Β και D υπάρχει χρόνος αναμονής **15 λεπτών**. Κανονίστε το διαθέσιμο χρόνο σας αναλόγως.

Οδηγίες ασφαλείας

Μη συνδέετε απευθείας σε πηγή 220V/25A καλώδια ή συσκευές που δεν προορίζονται για αυτή την τάση/ένταση. Χρησιμοποιήστε μόνο τις παρεχόμενες πηγές, χωρίς καμία μετατροπή στην εξωτερική τροφοδοσία.

Λίστα υλικών / εξοπλισμού



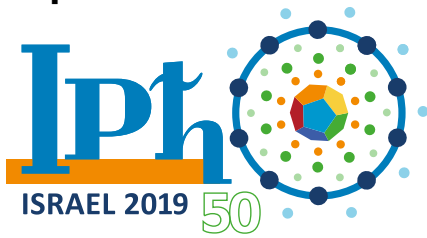
Σχήμα 1

1. **Χάλκινος** κούλος κυλινδρικός σωλήνας, μήκους 200.0 mm, εσωτερικής διαμέτρου 6.0 mm, εξωτερικής διαμέτρου **20.0 mm**
2. **Μπρούτζινος** κούλος κυλινδρικός σωλήνας, μήκους 200.0 mm, εσωτερικής διαμέτρου 6.0 mm, εξωτερικής διαμέτρου **19.0 mm**



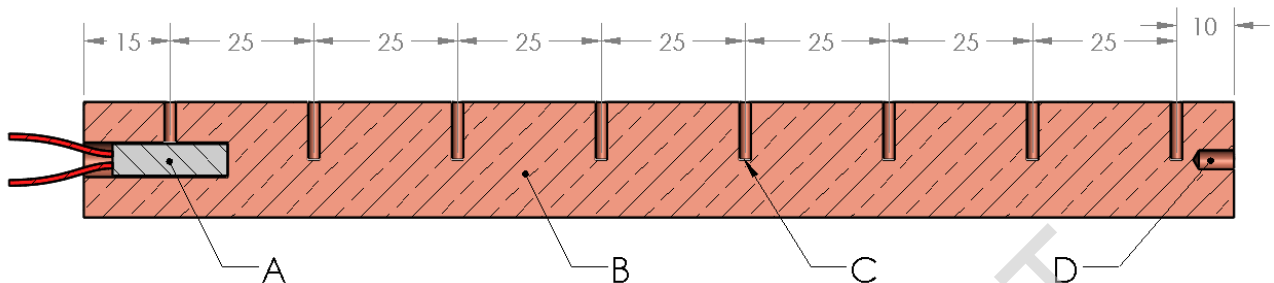
3. **Αλουμινένιος** κοίλος κυλινδρικός σωλήνας, μήκους 200.0 mm, εσωτερικής διαμέτρου 6.0 mm, εξωτερικής διαμέτρου **19.0 mm**
 4. Μικρός μόνιμος μαγνήτης μάζας 1.2 gr.
 5. Δεξαμενή νερού - ένα ειδικά σχεδιασμένο δοχείο, που κατά βάση χρησιμοποιείται για την παρασκευή ενός τοπικού εδέσματος που καλείται "Jachnun", ένα είδος Ισραηλινού ζυμαρικού. Το καπάκι του δοχείου περιλαμβάνει έναν εναλλάκτη θερμότητας στο εσωτερικό και μια βίδα στην κορυφή. Παρέχονται 4 λίτρα μεταλλικού (χωρίς φυσαλίδες) νερού (2 φιάλες των 2 λίτρων) για το γέμισμα της δεξαμενής.
 6. Ράβδος 1 - μια χάλκινη ράβδος διαμέτρου 20.0 mm με αισθητήρες θερμοκρασίας συνδεδεμένους στην υποδοχή καλωδίου και μια ενσωματωμένη πηγή θερμότητας συνδεδεμένη στα κόκκινα καλώδια (Σχήμα 2.α). Τα κόκκινα καλώδια προορίζονται να συνδεθούν στην πηγή DC (βλ. σημείο 15 ακολούθως) μέσω κυκλώματος. Η ράβδος έχει καλυφθεί με μαύρο θερμομονωτικό αφρώδες υλικό.
 7. Ράβδος 2 - Σύνθετη ράβδος διαμέτρου 20.0 mm, με αισθητήρες θερμοκρασίας συνδεδεμένους στην υποδοχή καλωδίου και μια ενσωματωμένη πηγή θερμότητας συνδεδεμένη στα κόκκινα καλώδια (Σχήμα 2.β). Τα κόκκινα καλώδια προορίζονται να συνδεθούν στην πηγή DC (βλ. σημείο 15 ακολούθως) μέσω κυκλώματος. Η ράβδος έχει καλυφθεί με μαύρο θερμομονωτικό αφρώδες υλικό.
 8. Πρόσθετο κομμάτι αφρώδους υλικού για την συμπλήρωση της μόνωσης της ράβδου.
 9. Πηγή 12V DC για το ψηφιακό όργανο μετρήσεων.
 10. Ψηφιακό όργανο μετρήσεων. Το όργανο αυτό εμφανίζει τις ενδείξεις θερμοκρασίας των οκτώ θερμομέτρων και ενδείξεις χρόνου, βλ. οδηγίες ακολούθως. Το όργανο αυτό χρησιμοποιείται και ως χρονόμετρο.
 11. Καλώδιο για τη σύνδεση των θερμομέτρων της ράβδου με το ψηφιακό όργανο μετρήσεων.
 12. Βολτόμετρο - Ο επιλογέας λειτουργίας του οργάνου αυτού θα πρέπει να ρυθμιστεί στα 20 Volts DC (Σχήμα 3).
 13. Αμπερόμετρο - Ο επιλογέας λειτουργίας του οργάνου αυτού θα πρέπει να ρυθμιστεί στα 10 Amperes DC (Σχήμα 3).
 14. Καλώδια σύνδεσης.
 15. Ηλεκτρική πηγή 9V DC για την πηγή θερμότητας συνδεδεμένη μέσω καλωδίων με μπανάνα.
- ΠΡΟΣΟΧΗ:** 1. Μόνο οι πηγές που σας δίνονται (με τυπικούς AC ακροδέκτες) μπορούν να συνδεθούν στην εξωτερική πηγή. Συνδέοντας απομονωμένα καλώδια ή άλλο εξοπλισμό στην εξωτερική πηγή απαγορεύεται αυστηρά και μπορεί να προκαλέσει σοβαρό τραυματισμό.
2. Μη βυθίζετε τα καλώδια στο νερό.

Experiment



Q2-3

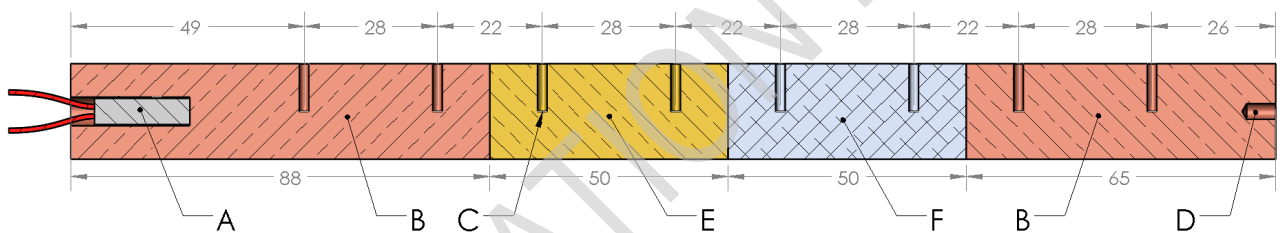
Greek (Greece)



Σχήμα 2.α - Σχεδιάγραμμα της ράβδου 1.

Οι αποστάσεις δίνονται σε mm με ακρίβεια 0.1mm.

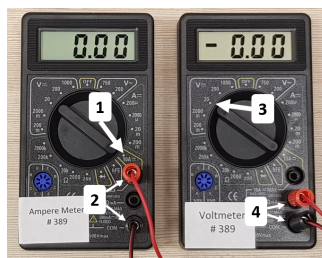
(A) Πηγή θερμότητας συνδεδεμένη στα κόκκινα καλώδια. (B) Χάλκινη ράβδος. (C) Οκτώ αισθητήρες θερμοκρασίας καθένας στη θέση εγκοπήs όπως αυτή που υποδεικνύεται από το βέλος. (D) Σπείρωμα με οπές για τη στερέωση πάνω στο καπάκι της δεξαμενής νερού.



Σχήμα 2.β - Σχεδιάγραμμα της ράβδου 2.

Οι αποστάσεις δίνονται σε mm με ακρίβεια 0.1mm.

(A) Πηγή θερμότητας συνδεδεμένη στα κόκκινα καλώδια. (B) Χάλκινη ράβδος. (C) Οκτώ αισθητήρες θερμοκρασίας καθένας στη θέση εγκοπήs όπως αυτή που υποδεικνύεται από το βέλος. (D) Σπείρωμα με οπές για τη στερέωση πάνω στο καπάκι της δεξαμενής νερού. (E) Μπρούτζινη ράβδος. (F) Ράβδος αλουμινίου..



Σχήμα 3 - Αμπερόμετρο και βολτόμετρο

(1) - Τοποθέτηση του περιστρεφόμενου διακόπτη για επιλογή 10A που χρησιμοποιείται στο πείραμα. (2) Ακροδέκτες σύνδεσης του αμπερομέτρου.

(3) - Τοποθέτηση του περιστρεφόμενου διακόπτη για επιλογή 20V που χρησιμοποιείται στο πείραμα. (4) Ακροδέκτες σύνδεσης του βολτομέτρου.



Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό όργανο μετρήσεων.

Συνδέστε το ψηφιακό όργανο μετρήσεων στο τροφοδοτικό του τάσης 12V DC.

Το ψηφιακό όργανο μετρήσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους, ως χρονόμετρο και ως μετρητής θερμοκρασίας. Όταν το καλώδιο από τους αισθητήρες συνδέεται στο όργανο μετρήσεων, αυτό μεταπίπτει αυτομάτως σε λειτουργία μέτρησης θερμοκρασίας. Όταν το καλώδιο από τους αισθητήρες αποσυνδέεται, το όργανο μετρήσεων μεταπίπτει αυτομάτως σε λειτουργία χρονομέτρου και στην οθόνη εμφανίζεται η ένδειξη "Timer mode".

Σε λειτουργία μέτρησης θερμοκρασίας:

- Πατήστε παρατεταμένα το κόκκινο κουμπί για 3 δευτερόλεπτα για να μηδενίσετε την ένδειξη χρόνου.
- Μικρής χρονικής διάρκειας ("κοφτό") πάτημα του κόκκινου κουμπιού σταθεροποιεί τη στιγμιαία ένδειξή του (ενώ το χρονόμετρο συνεχίζει να μετρά το χρόνο από τον τελευταίο μηδενισμό του, αλλά δεν τον εμφανίζει).
- Πατώντας ξανά το κόκκινο κουμπί επανεμφανίζονται οι τρέχουσες ενδείξεις θερμοκρασίας και χρονομέτρου.

Σε λειτουργία χρονομέτρου:

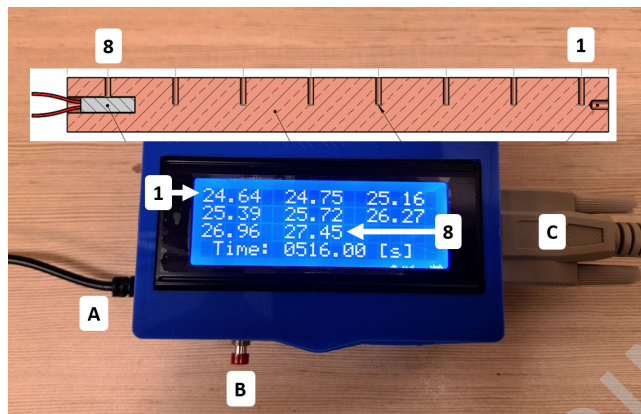
- Το χρονόμετρο ξεκινά με το πάτημα του κόκκινου κουμπιού.
- Νέο πάτημα σταματά το χρονόμετρο.
- Πατώντας για τρίτη φορά, η ένδειξη του οργάνου μηδενίζεται.

Το ψηφιακό όργανο μετρήσεων πρέπει να βαθμονομηθεί για κάθε ράβδο πριν την πρώτη χρήση.

Τα θερμόμετρα που χρησιμοποιούνται στο πείραμα δεν είναι απολύτως όμοια. Συνεπώς, όταν η ράβδος βρίσκεται σε θερμική ισορροπία, θα πρέπει να βαθμονομήσετε, ώστε να παίρνετε τις ίδιες μετρήσεις από όλους τους αισθητήρες. Για το σκοπό αυτό συνδέστε το ένα άκρο των καλωδίων των θερμομέτρων στη ράβδο. Ακολουθώντας πιέστε παρατεταμένα το κόκκινο κουμπί ενώ συνδέετε το άλλο άκρο των καλωδίων των θερμομέτρων στο ψηφιακό όργανο μετρήσεων. Η αποσύνδεση του οργάνου από την πηγή και τα καλώδια των αισθητήρων δεν αλλοιώνει τη βαθμονόμηση.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Πραγματοποιήστε τη βαθμονόμηση **πριν** συνδέσετε τη ράβδο στη δεξαμενή, ή την πηγή θερμότητας στην πηγή. Αυτό εξασφαλίζει ότι όλα τα σημεία της ράβδου θα βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία κατά τη βαθμονόμηση.

Αν αντιμετωπίσετε οποιοδήποτε πρόβλημα με το ψηφιακό όργανο μετρήσεων, δοκιμάστε να το βγάλετε από την πρίζα και να το ξανασυνδέσετε. Το όργανο δεν θα χρειαστεί νέα βαθμονόμηση.



Σχήμα 4 - το ψηφιακό όργανο μετρήσεων

(A) Καλώδιο τροφοδοσίας 12V DC. (B) Κόκκινο κουμπί πολλαπλών λειτουργιών. (C) Καλώδιο θερμομέτρων. (1-8) Ενδείξεις θερμομέτρων (σε °C) σε οριζόντια (κατά γραμμή) αντιστοιχία.

Μέρος A: Ηλεκτρική αγωγιμότητα χαλκού, αλουμινίου και μπρούτζου (1.5 points)

Θεωρία

Όταν ένας μόνιμος μαγνήτης πέφτει μέσα σε κοίλο κυλινδρικό αγωγίμο σωλήνα, δέχεται μια μη συντηρητική δύναμη λόγω δινορευμάτων (επαγωγικά κυκλικά ρεύματα που εμφανίζονται στο σωλήνα). Συνεπώς, ο μαγνήτης αποκτά μια οριακή ταχύτητα. Για την περίπτωση που εξετάζουμε, η οριακή ταχύτητα δίνεται από τη σχέση:

$$v_{terminal} = \frac{8\pi m g a^2}{\mu_0^2 (\pi r_m^2 M)^2 \sigma w f \left(\frac{d}{a}\right)} \quad (1)$$

όπου m είναι η μάζα του μαγνήτη, σ είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού του σωλήνα, a είναι η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα, r_m και d είναι η ακτίνα και το ύψος του μαγνήτη αντίστοιχα, M είναι η παραμένουσα μαγνήτιση του μαγνήτη, w είναι το πάχος των τοιχωμάτων του σωλήνα και $f\left(\frac{d}{a}\right)$ είναι μια συνάρτηση κλίμακας. Στην περίπτωσή μας ισχύει $a \approx r_m$, $d = 2r_m \approx 2a$ και $f(2) \approx 1.75$. Συνεπώς, ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο μαγνήτης να διέλθει μέσα από το σωλήνα μπορεί να προσεγγιστεί από τη σχέση:

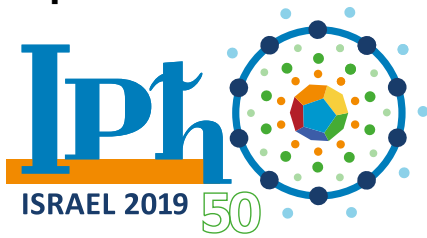
$$t = 0.22 \frac{\pi r_m^2 (\mu_0 M)^2 w L_0 \sigma}{m g} \quad (2)$$

Εδώ $L_0 = 0.2$ m είναι το μήκος του σωλήνα και υποθέτουμε ότι ο μαγνήτης αποκτά την οριακή ταχύτητα αμέσως μόλις αφήνεται να κινηθεί.

Τα χαρακτηριστικά του σωλήνα και του μαγνήτη που χρειάζονται για τους υπολογισμούς είναι:

$\mu_0 M = 0.65$ T, $w_{\text{Aluminum}} = w_{\text{Copper}} = 7.0 \times 10^{-3}$ m, $w_{\text{Brass}} = 6.5 \times 10^{-3}$ m, $m = 1.2 \times 10^{-3}$ kg, $r_m = 3.0 \times 10^{-3}$ m, $g = 9.8$ m/s²

Experiment



Q2-6

Greek (Greece)

Πείραμα

A.1 Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό όργανο μετρήσεων σε λειτουργία χρονομέτρου, μετρήστε το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε ο μαγνήτης να πέσει μέσα από τους κοίλους σωλήνες από αλουμίνιο, χαλκό και μπρούτζο. Σημειώστε τις μετρήσεις σας στον πίνακα A1. 1.0pt

A.2 Χρησιμοποιώντας την ανωτέρω εξίσωση, βρείτε τις τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας σ_{Aluminum} , σ_{Copper} , σ_{Brass} για καθένα από τα τρία υλικά. 0.5pt

Μέρος B: Θερμική αγωγιμότητα του χαλκού (3.0 points)

Σκοπός αυτού του Μέρους είναι η μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας του χαλκού κοντά στη σταθερή κατάσταση.

Θεωρία

Η θερμική αγωγιμότητα κ ορίζεται από την εξίσωση $P(x) = -\kappa A \cdot \frac{\Delta T(x)}{\Delta x}$. Η εξίσωση αυτή περιγράφει τη γραμμική σχέση μεταξύ της τοπικής βαθμίδας (μεταβολής) θερμοκρασίας και της ισχύος που διέρχεται από μια διατομή του υλικού. Με $P(x) = -\kappa A \cdot \frac{\Delta T(x)}{\Delta x}$ συμβολίζουμε την ισχύ που διέρχεται από μια διατομή στη θέση x , A είναι το εμβαδόν της διατομής της ράβδου και $\Delta T(x) / \Delta x$ είναι η βαθμίδα θερμοκρασίας στη θέση x .

Πείραμα

Συνδέστε το ψηφιακό όργανο μετρήσεων στην εξωτερική πηγή και βαθμονομήστε τη ράβδο 1. Ρίξτε 4 λίτρα (2 μπουκάλια) νερού μέσα στη δεξαμενή ώστε να καλυφθεί πλήρως ο εναλλάκτης και κλείστε το καπάκι.

B.1 Καταγράψτε την αρχική θερμοκρασία της ράβδου 1 τη στιγμή που τοποθετείται πάνω στο τραπέζι. 0.1pt

Αποσυνδέστε το καλώδιο του ψηφιακού οργάνου μετρήσεων από τη ράβδο. Απομακρύνετε το πρόσθετο κομμάτι αφρώδους υλικού και βιδώστε τη ράβδο 1 στο καπάκι της δεξαμενής. Ξανασυνδέστε το καλώδιο στο ψηφιακό όργανο μετρήσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 5. Φροντίστε ώστε η ροπή δύναμης να μην είναι πολύ μεγάλη.



Σχήμα 5

- B.2** Σχεδιάστε ένα κύκλωμα που θα σας επιτρέψει να τροφοδοτήσετε την πηγή θερμότητας και να μετρήσετε την ισχύ τροφοδοσίας. Το κύκλωμά σας θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα: πηγή 9V, πηγή θερμότητας (ήδη συνδεδεμένη στη ράβδο), βολτόμετρο, αμπερόμετρο και καλώδια σύνδεσης. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τα καλώδια ως διακόπτη για να θέτετε το κύκλωμα εντός και εκτός λειτουργίας. 0.5pt

Η θερμική αγωγιμότητα θα μετρηθεί θερμαίνοντας το ένα άκρο της ράβδου ενώ το άλλο διατηρείται σε σχεδόν σταθερή θερμοκρασία, ίση με τη θερμοκρασία του νερού στη δεξαμενή.

Θέλουμε να προσεγγίσουμε μια σταθερή κατάσταση για όλα τα θερμόμετρα. Συνδέστε το κύκλωμα του ερωτήματος B2 και τροφοδοτήστε την πηγή θερμότητας.

- B.3** Πάρτε τις κατάλληλες μετρήσεις για να υπολογίσετε την ισχύ P που παρέχεται στην πηγή θερμότητας και σημειώστε την τιμή της στο φύλλο απαντήσεων. 0.1pt

Τροφοδοτήστε την πηγή θερμότητας με ισχύ για 15 λεπτά (Μπορείτε να εκμεταλλευτείτε αυτό το χρονικό διάστημα για να σχεδιάσετε τα πειράματά σας).

- B.4** Καταγράψτε στον αντίστοιχο πίνακα τις ενδείξεις των οκτώ θερμομέτρων κατά τις χρονικές στιγμές (κατά προσέγγιση): 15 min, 17.5 min, 20 min. 0.5pt

- B.5** Σε μιλιμετρέ χαρτί σχεδιάστε τρεις γραφικές παραστάσεις της θερμοκρασίας συναρτήσει της θέσης, για κάθε μία από τις τρεις στιγμές μέτρησης. Οι παραστάσεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν και στο Μέρος D. 1.0pt

- B.6** Χρησιμοποιήστε τη γραφική παράσταση για να υπολογίσετε την τιμή της θερμικής αγωγιμότητας κ_0 του χαλκού, με βάση τις μετρήσεις σας κατά τη στιγμή (περίπου) 17.5 min. Σε αυτό το Μέρος αγνοήστε τις θερμικές απώλειες. Εκτιμήστε το μέσο ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας της ράβδου $\frac{\Delta T}{\Delta t}$, τη στιγμή (περίπου) 17.5 min. 0.5pt



B.7 Αναμένετε υψηλότερη / χαμηλότερη / την ίδια τιμή του κ_0 , συγκριτικά με την πραγματική του κ ; 0.3pt

Μέρος C: Εκτιμώντας τις θερμικές απώλειες και τη θερμοχωρητικότητα του χαλκού (4.0 points)

Θεωρία

Η θερμοχωρητικότητα C ορίζεται με οποιαδήποτε από τις επόμενες εξισώσεις:

$$\Delta Q = C \Delta T, \quad \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right). \quad (3)$$

όπου $\Delta Q / \Delta t$ είναι ο καθαρός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας προς το υλικό και $\Delta T / \Delta t$ είναι ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας. Η ειδική θερμότητα c_p ορίζεται ως η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας. Να θεωρήσετε τη μάζα της χάλκινης ράβδου ίση προς 0.58 kg.

Πείραμα

Θέστε την πηγή θερμότητας εκτός λειτουργίας. Αποσυνδέστε την από το κύκλωμα, ξεβιδώστε και τοποθετήστε τη ράβδο 1 πάνω τραπέζι. Τοποθετήστε το πρόσθετο κομμάτι αφρώδους υλικού πάνω στη ράβδο, όπως το βρήκατε στην αρχή του πειράματος. Επανασυνδέστε την πηγή θερμότητας στο κύκλωμα και τη ράβδο στο ψηφιακό όργανο μετρήσεων.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Σε αυτό το Μέρος μην αφήνετε την πηγή θερμότητας σε λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να καταγράφετε τη θερμοκρασία.

Χρησιμοποιώντας μια αλληλουχία ψύξης, θέρμανσης και ξανά ψύξης, μπορούμε να εξαγάγουμε τόσο τις θερμικές απώλειες όσο και την θερμοχωρητικότητα ενός υλικού. Κατά τη θέρμανση η μέση θερμοκρασία θα πρέπει να αλλάξει κατά περίπου 2.5°C . Η απαιτούμενη ακρίβεια στο βήμα αυτό μπορεί να επιτευχθεί από μια αλληλουχία ψύξης-θέρμανσης-ψύξης συνολικής διάρκειας 10-15 λεπτών.

Εδώ σκοπεύουμε να εργαστούμε κοντά στη μέση θερμοκρασία που μετρήσαμε πλησίον της σταθερής κατάστασης στο Μέρος Β.

Προκειμένου να συνοπτολογίσουμε τη συνολική θερμική ενέργεια που έχει αποθηκευτεί στη ράβδο, πρέπει να βρούμε τη μέση τιμή της θερμοκρασίας της τελευταίας. Η θερμοκρασία στο μέσο της ράβδου ισούται κατά προσέγγιση με τη μέση τιμή της κατά μήκος όλης της ράβδου.

C.1 Εκτελέστε μια αλληλουχία ψύξης-θέρμανσης-ψύξης και καταγράψτε τις μετρήσεις σας στον πίνακα C1, για να βρείτε τη μέση θερμοκρασία 1.0pt

C.2 Σχεδιάστε σε μιλιμετρέ χαρτί τη μέση θερμοκρασία ως προς το χρόνο 1.0pt

Experiment



Q2-9

Greek (Greece)

- C.3** Χρησιμοποιώντας τη γραφική παράσταση, υπολογίστε την ειδική θερμότητα c_p και την απώλεια θερμότητας στη μονάδα του χρόνου P_{loss} γύρω από τη μέση θερμοκρασία του Μέρους Β. Περιγράψτε τη μέθοδό σας χρησιμοποιώντας διαγράμματα και εξισώσεις. 1.0pt

Υπάρχουν δύο κύριοι μηχανισμοί που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, προκειμένου να βελτιώσουμε την ακρίβεια στην τιμή της θερμικής αγωγιμότητας που εξήχθη στο Μέρος Β.

- Υπάρχει απώλεια θερμότητας λόγω ακτινικής μεταφοράς θερμότητας μέσω της μόνωσης.
- Το σύστημα δεν πρόλαβε να φτάσει σε σταθερή κατάσταση μέχρι τη στιγμή της μέτρησης

Σε προσέγγιση πρωτοβάθμιων όρων, μπορείτε να υποθέσετε ότι λόγω αυτών των μηχανισμών η αλλαγή ανά μονάδα μήκους στη ροή ισχύος κατά μήκος της ράβδου $\Delta P(x)/\Delta x$, είναι σταθερή.

- C.4** Γράψτε μια εξίσωση διορθώνοντας σε προσέγγιση πρωτοβάθμιων όρων τη θερμική αγωγιμότητα που βρήκατε στο Μέρος Β, λαμβάνοντας υπόψη και τους δύο μηχανισμούς. Χρησιμοποιήστε τα $\kappa_0, P, c_p, m, Q_{\text{loss}}, \frac{\Delta T}{\Delta t}$ από τα Μέρη Β, C για να εκφράσετε τη διορθωμένη τιμή της θερμικής αγωγιμότητας κ_{Copper} και υπολογίστε την τιμή της. 1.0pt

Μέρος D: Θερμική αγωγιμότητα μπρούτζου και αλουμινίου (1.0 points)

Συνδέστε τη μονωμένη ράβδο 2 στο ψηφιακό όργανο μετρήσεων και βαθμονομήστε τα θερμομέτρα αυτής της ράβδου με τον τρόπο που αναφέρεται στην αρχή του Μέρους Β (με πατημένο το κόκκινο κουμπί συνδέστε τη μονωμένη ράβδο 2 στο ψηφιακό όργανο μετρήσεων χρησιμοποιώντας το καλώδιο των θερμομέτρων).

- D.1** Καταγράψτε την αρχική θερμοκρασία τη ράβδου όταν βρίσκεται πάνω στο τραπέζι. 0.1pt

Αποσυνδέστε το καλώδιο και βιδώστε τη ράβδο 2 στο καπάκι της δεξαμενής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Συνδέστε ξανά το καλώδιο στο ψηφιακό όργανο μετρήσεων.

Επαναλάβετε τη διαδικασία του Μέρους Β για να προσεγγίσετε τη σταθερή κατάσταση κατά τη θέρμανση.

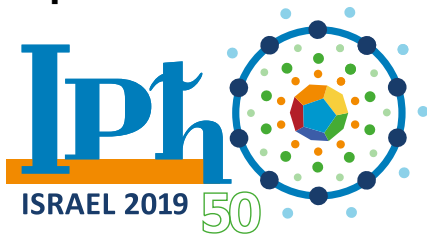
Αφήστε την πηγή θερμότητας σε λειτουργία για τουλάχιστον **15 λεπτά.**, πριν τη λήψη μετρήσεων

Για την απαιτούμενη ακρίβεια στο Μέρος αυτό, μπορείτε να υποθέσετε ότι η ράβδος βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση. Επιπρόσθετα, μπορείτε να υποθέσετε ότι η απώλεια θερμότητας ανά μονάδα μήκους είναι σταθερή σε όλο το μήκος της ράβδου.

- D.2** Καταγράψτε τις μετρήσεις θερμοκρασίας από τα οκτώ θερμομέτρα της ράβδου 2 καθώς και τις τιμές του $\Delta T/\Delta x$ για κάθε ένα από τα τμήματά της. 0.2pt

Σε προσέγγιση πρωτοβάθμιων όρων, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την ίδια υπόθεση όπως στο ερώτημα C.4, συγκεκριμένα ότι το $\Delta P(x)/\Delta x$ είναι σταθερό.

- D.3** Εκφράστε τα κ_{Brass} και κ_{Aluminum} χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες μετρήσεις σας και εκτιμήστε τις αριθμητικές τους τιμές. 0.7pt

**Μέρος E: Ο νόμος Wiedemann-Franz (0.5 points)**

Ο νόμος Wiedemann-Franz ορίζει πως στα μέταλλα όπου η μεταφορά θερμότητας γίνεται κυρίως από τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας, ο λόγος της θερμικής προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται γραμμικά από την απόλυτη θερμοκρασία. Επιπλέον, ο νόμος ορίζει ότι η κλίση $L = \frac{\kappa}{\sigma T}$ (γνωστή και ως "αριθμός Lorenz") αυτή της εξάρτησης έχει την ίδια τιμή για τα περισσότερα μέταλλα, και εξαρτάται μόνο από παγκόσμιες φυσικές σταθερές. Στην πραγματικότητα, για μέταλλα σε θερμοκρασία δωματίου, ο νόμος αυτός ισχύει με ακρίβεια περίπου 10%.

- | | | |
|------------|--|-------|
| E.1 | Καταγράψτε τα ευρήματά σας για τη θερμική και την ηλεκτρική αγωγιμότητα (κ, σ) στον πίνακα E1. Θεωρώντας ότι, σε προσέγγιση πρωτοβάθμιων όρων, η θερμική αγωγιμότητα δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία, υπολογίστε την τιμή του L για κάθε υλικό και σημειώστε την στον ίδιο πίνακα E1. | 0.5pt |
|------------|--|-------|

Νόμος Wiedemann-Franz - Φύλλο απαντήσεων

Μέρος A: Ηλεκτρική αγωγιμότητα χαλκού, αλουμινίου και μπρούτζου (1.5 points)

A.1 (1.0 pt)

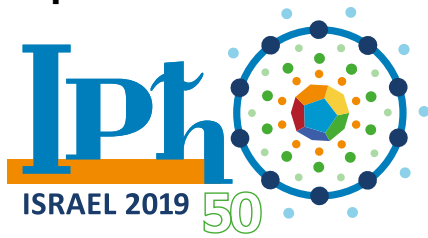
Χρόνος πτώσης μαγνήτη:

αριθμός σης	μέτρη-	χαλκός	αλουμίνιο	μπρούτζος

A.2 (0.5 pt)

	χαλκός	αλουμίνιο	μπρούτζος
ηλεκτρική αγωγιμότητα			

Μέρος B: Θερμική αγωγιμότητα του χαλκού (3.0 points)



B.1 (0.1 pt)

Θερμοκρασία ράβδου 1:

B.2 (0.5 pt)

DELEGATION PRINT

B.3 (0.1 pt)

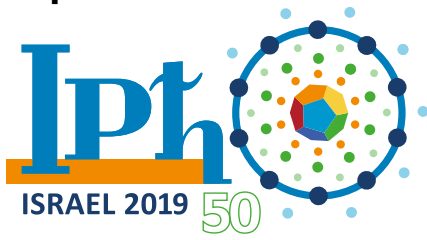
$P =$

B.4 (0.5 pt)

Χρόνος	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8

B.5 (1.0 pt)

Σχεδιάστε στα πρόσθετα Φύλλα γραφικών παραστάσεων τη θερμοκρασία ως συνάρτηση της θέσης.



B.6 (0.5 pt)

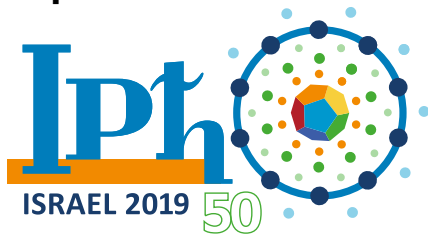
$$\kappa_0 =$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} =$$

B.7 (0.3 pt)

Κυκλώστε τη σωστή απάντηση:

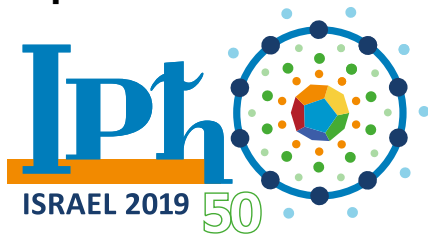
$$\kappa > \kappa_0 \text{ ή } \kappa < \kappa_0 \text{ ή } \kappa = \kappa_0$$



Μέρος C: Εκτιμώντας τις θερμικές απώλειες και τη θερμοχωρητικότητα του χαλκού (4.0 points)

C.1 (1.0 pt)

[illegible]



C.2 (1.0 pt)

Σχεδιάστε στα πρόσθετα Φύλλα γραφικών παραστάσεων τη μέση θερμοκρασία σαν συνάρτηση του χρόνου

C.3 (1.0 pt)

Έκφραση:

$$c_p =$$

$$P_{loss} =$$

Τιμή:

$$c_p =$$

$$P_{loss} =$$

C.4 (1.0 pt)

έκφραση:

$$\kappa_{copper} =$$

τιμή:

$$\kappa_{copper} =$$

Μέρος D: Μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας του μπρούτζου και του αλουμινίου (1.0 points)

D.1 (0.1 pt)

Ράβδος 2 : $T =$

Experiment



A2-6

Greek (Greece)

D.2 (0.2 pt)

Χρονική στιγμή μέτρησης :

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8

$\Delta T_{Copper-1}/\Delta x$	$\Delta T_{Brass}/\Delta x$	$\Delta T_{Aluminum}/\Delta x$	$\Delta T_{Copper-2}/\Delta x$

D.3 (0.7 pt)

έκφραση:

$$\kappa_{Aluminum} =$$

$$\kappa_{Brass} =$$

τιμή:

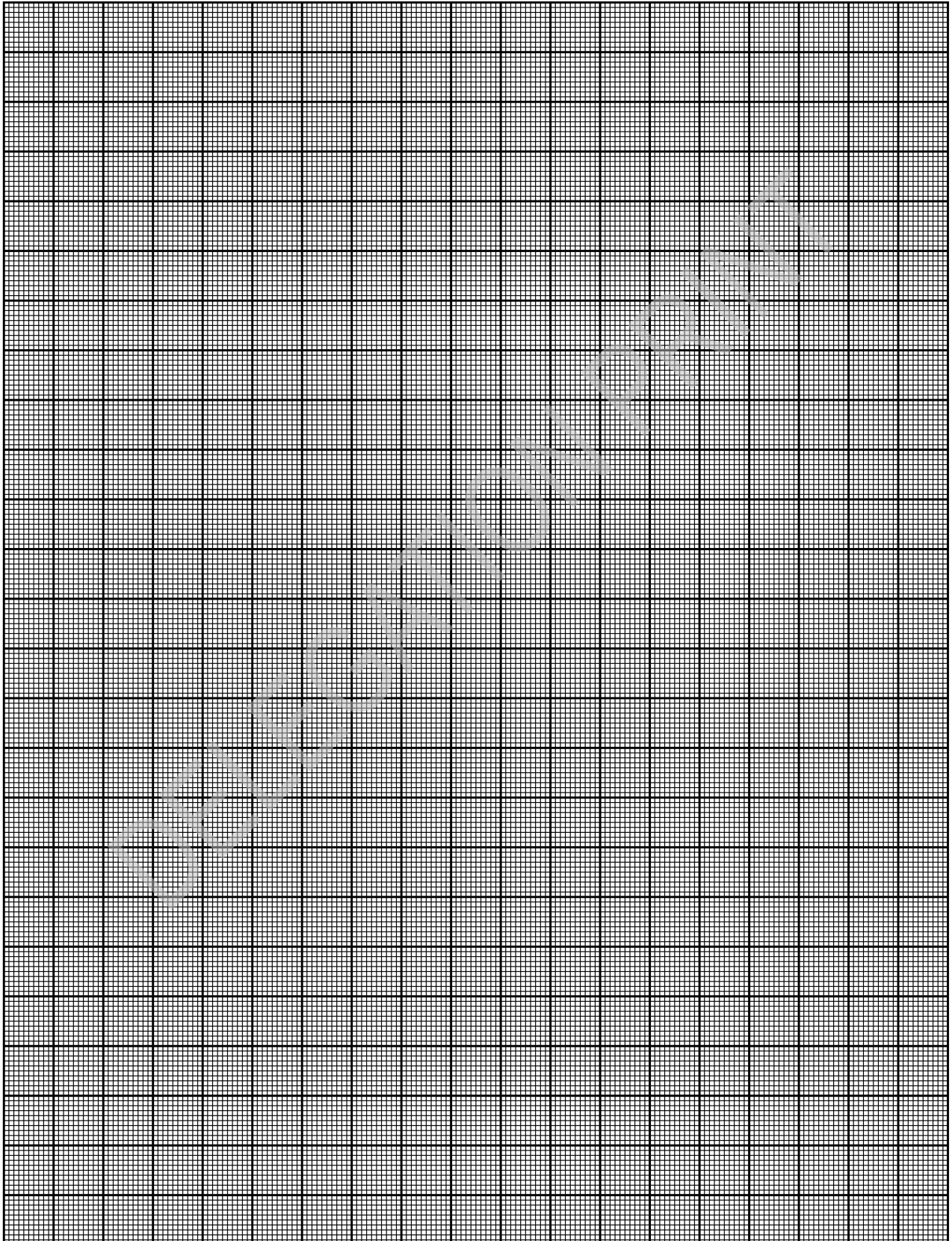
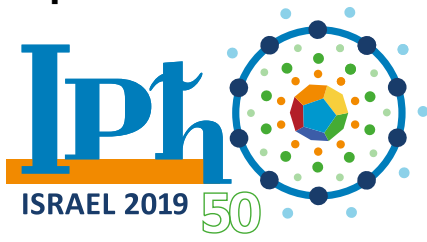
$$\kappa_{Aluminum} =$$

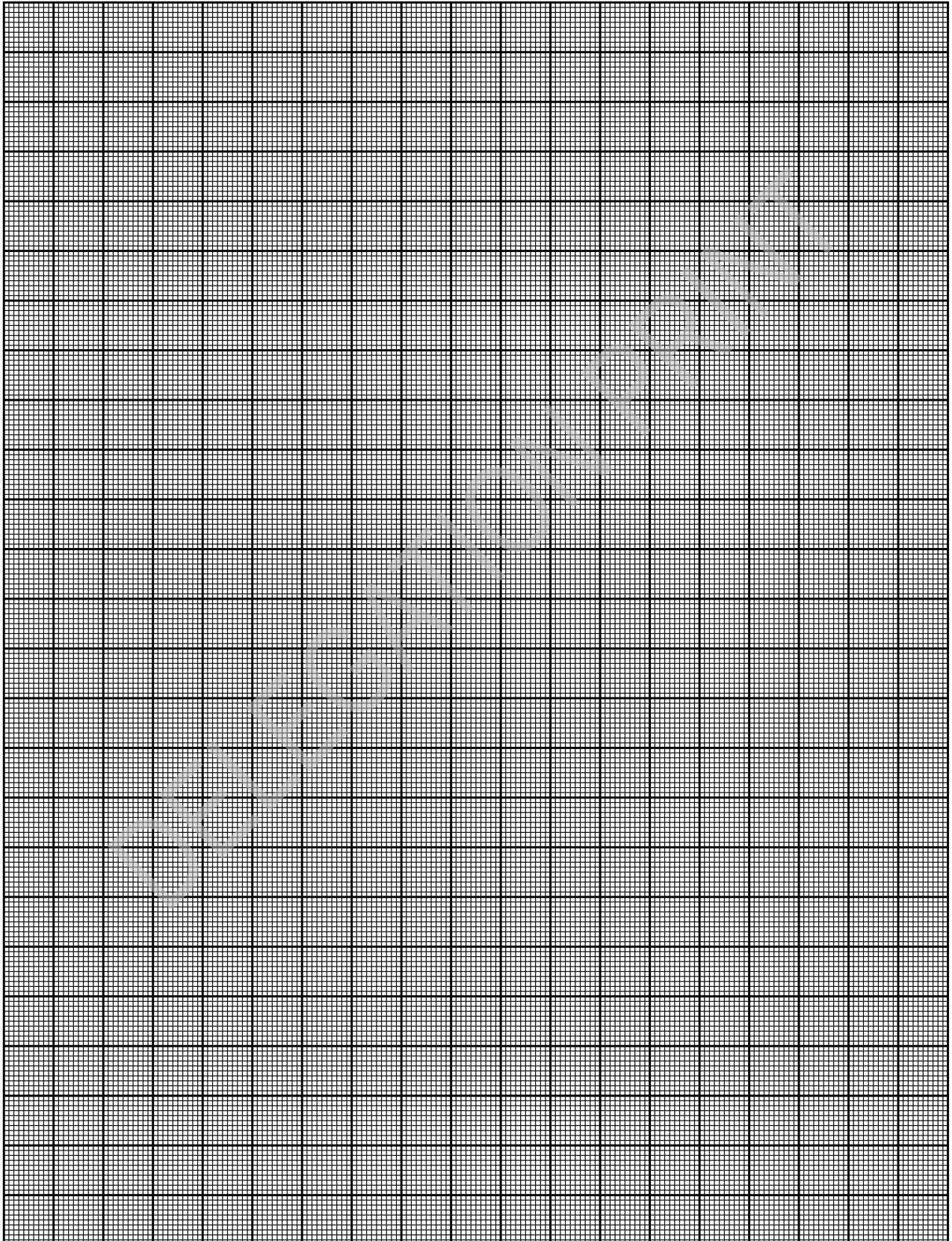
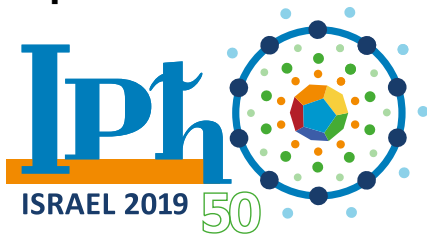
$$\kappa_{Brass} =$$

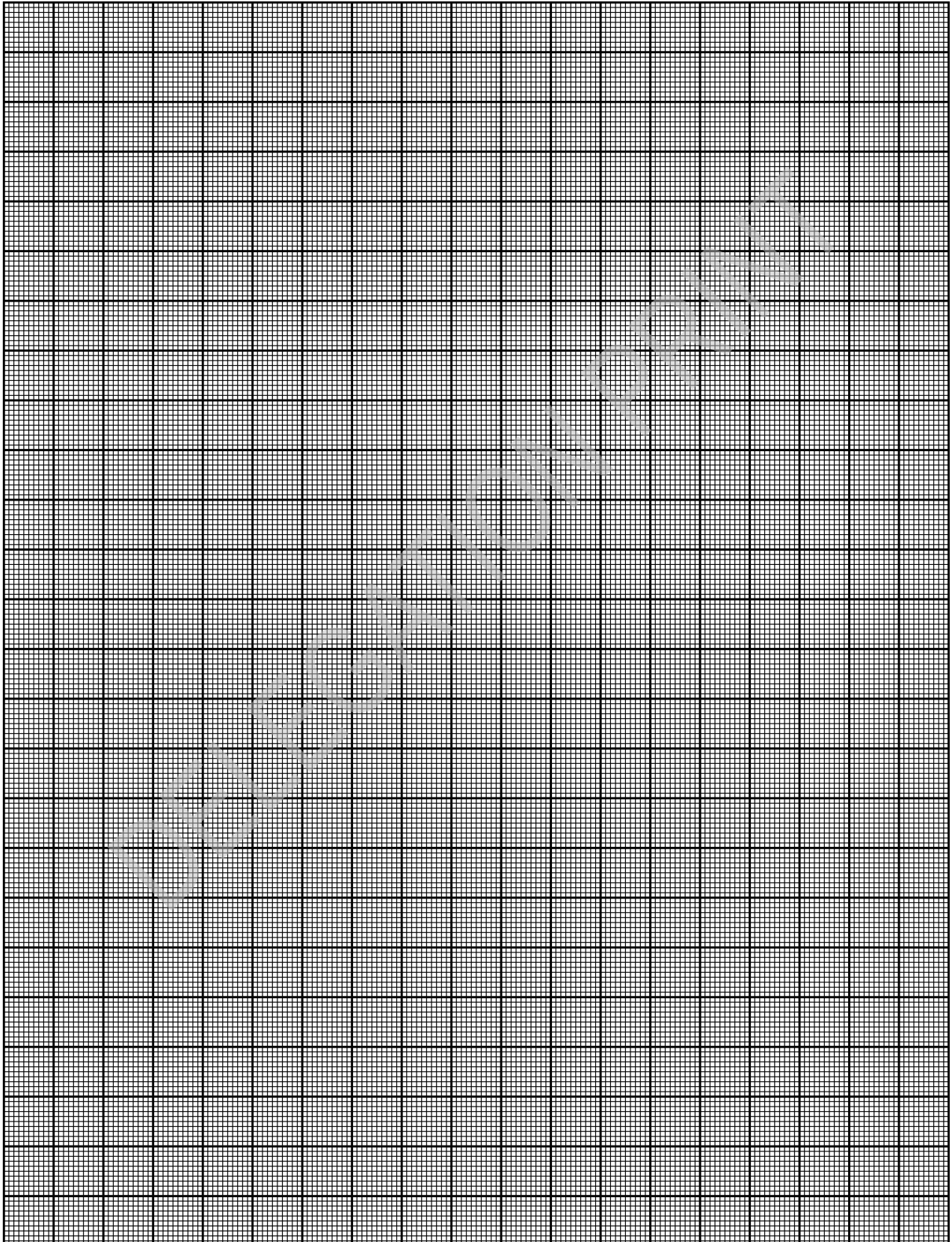
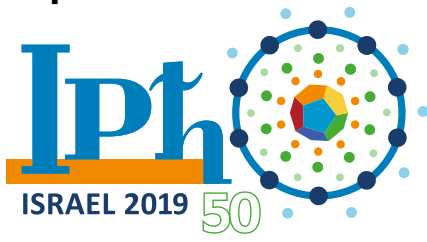
Μέρος Ε: Ο νόμος Wiedemann-Franz (0.5 points)

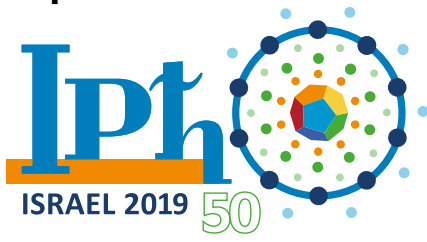
E.1 (0.5 pt)

	χαλκός	αλουμίνιο	μπρούτζος
ηλεκτρική αγωγιμότητα			
θερμική αγωγιμότητα			
συντελεστής Lorenz			



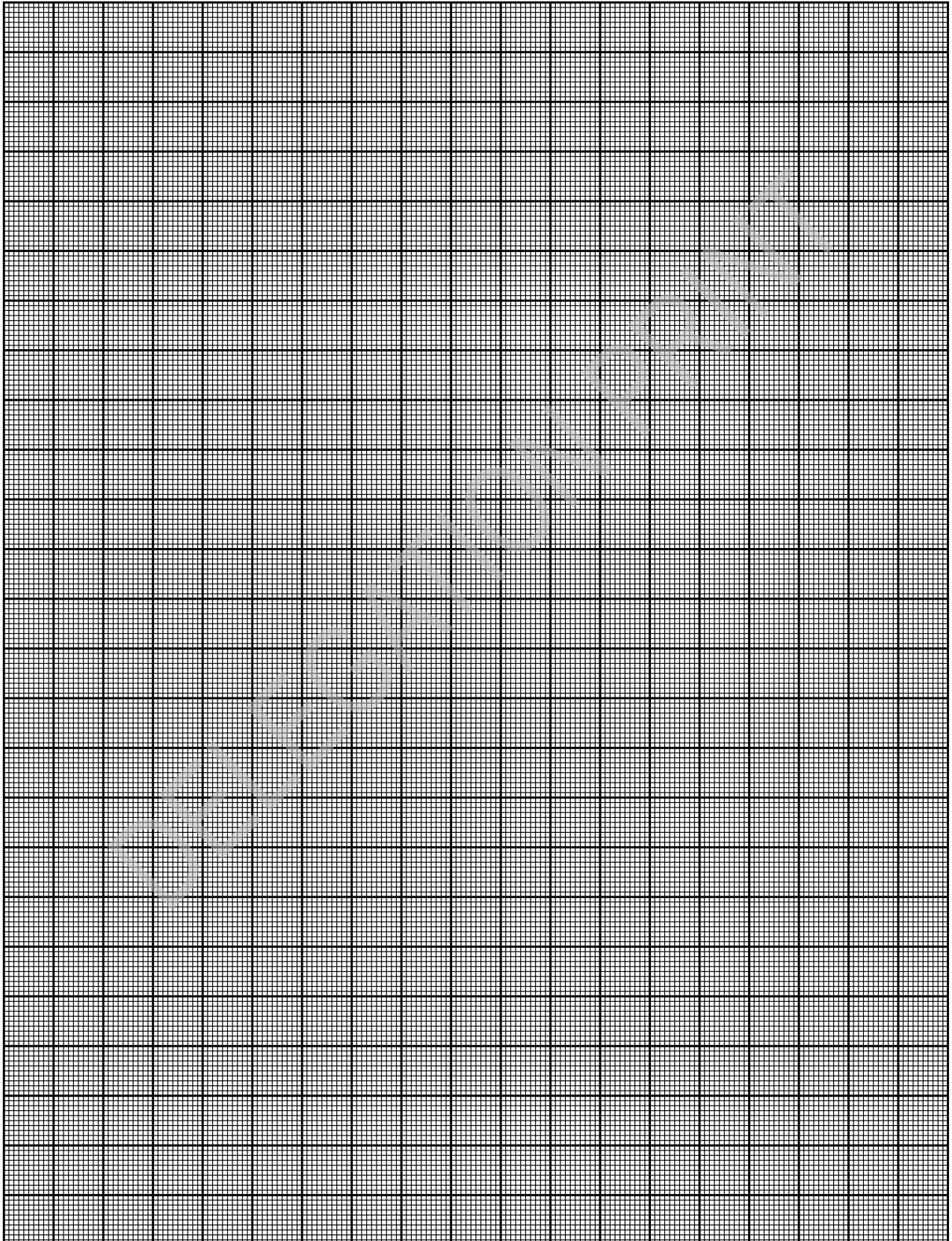






A2-10

Greek (Greece)





A2-11

Greek (Greece)

