



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ενότητα 1: Εισαγωγή

Χατζηαθανασίου Βασίλειος

Καδή Στυλιανή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Εισαγωγή



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Αγωγή
2. Συναγωγή
3. Ακτινοβολία



Ορισμός Θερμότητας

Με τον όρο θερμότητα εννοούμε ενέργεια που μεταφέρεται λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς.



Αντικείμενα μεταφοράς θερμότητας

- Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας.
- Ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας.



Παράδειγμα

- Θερμός: πτώση T από 90 σε 80 °C.
- Θερμοδυναμική: ισορροπία.
- $\Delta T \sim \Delta V$.



Μηχανισμοί

- αγωγή.
- συναγωγή.
- ακτινοβολία.



Παραδείγματα

- Ανθρώπινο σώμα.
- Α.Σ.
- Ψυγείο, ψυγείο αυτοκινήτου.
- ΣΠΗΕ.
- Πλακέτες.

- Βελτιστοποίηση – Θερμομόνωση.

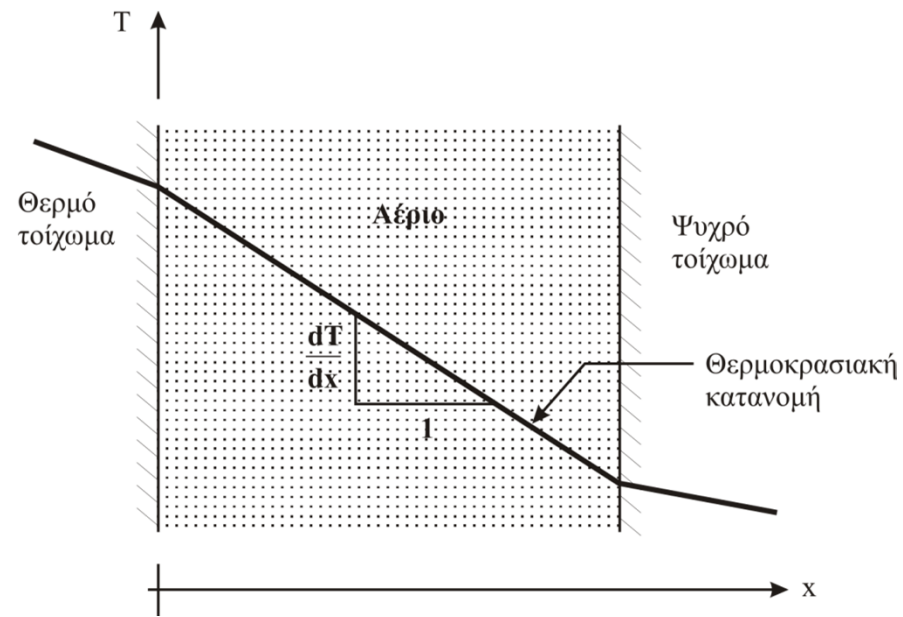


Αγωγή (1/7)

- Αγωγή: Μεταφορά ενέργειας από σωματίδια μεγαλύτερης ενέργειας σε σωματίδια χαμηλότερης ενέργειας λόγω αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σωματιδίων.
- Ερμηνεία: ευκολότερη σε αέριο (βλ. σχήμα)



Αγωγή (2/7)



Εικόνα 1: Αγωγή θερμότητας μέσω αερίου που χωρίζει δύο στερεά τοιχώματα



Αγωγή (3/7)

- Η Θερμοκρασία ενός σημείου είναι ανάλογη της ενέργειας των μορίων του αερίου στην περιοχή του σημείου.
- Ενέργεια μορίων: λόγω τυχαίας κίνησης, εσωτερικών περιστροφικών κινήσεων και ταλαντώσεων.
- Οι συγκρούσεις προκαλούν μεταφορά ενέργειας.



Αγωγή (4/7)

- Η κλίση της θερμοκρασίας προκαλεί μεταφορά ενέργειας λόγω αγωγής στην κατεύθυνση της μείωσης της θερμοκρασίας. (βλ. σχήμα)
- Διάχυση ενέργειας: καθαρή μεταφορά ενέργειας λόγω της τυχαίας κίνησης των μορίων.



Αγωγή (5/7)

- Εξισώσεις ρυθμού (rate equations): για τον υπολογισμό της ποσότητας ενέργειας που μεταφέρεται ανά μονάδα χρόνου.
- Αγωγή: Νόμος Fourier (εμπειρικός)

- Για μια διάσταση: $\dot{q}_x'' = -\lambda \frac{dT}{dx}$

\dot{q}_x'' : πυκνότητα θερμορροής (W/m²)



Αγωγή (6/7)

- Ερμηνεία νόμου Fourier.
- Ο συντελεστής αναλογίας είναι ο *συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας*.
- λ (ή k) $W / m \cdot ^\circ C$



Αγωγή (7/7)

- Μονοδιάστατο πρόβλημα – σταθερή κατάσταση:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$$\dot{q}_x'' = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{L} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{L} = \lambda \frac{\Delta T}{L}$$

Θερμορροή: $\dot{Q}_x = \dot{q}_x'' \cdot A$



Παράδειγμα (1/3)

- Κόστος απωλειών από στέγη:
 - i. Στέγη: $6 \times 8 \times 0,25 \text{ m}^3$
 - ii. Μπετόν: $\lambda = 0,8 \text{ W/m.K}$
 - iii. $T_1 = 15^\circ\text{C}$, $T_2 = 4^\circ\text{C}$, $t = 10 \text{ h}$
 - iv. $1 \text{ kWh} = 0,075 \text{ ευρώ}$



Παράδειγμα (2/3)

$$\begin{aligned}\dot{q}'' &= -\lambda \frac{dT}{dx} = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{L} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{L} = \\ &= 0,8 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{15 - 4 \text{ K}}{0,25 \text{ m}} = 35,2 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$



Παράδειγμα (3/3)

$$\dot{Q} = \dot{q}'' \cdot A = 35,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot (6 \cdot 8) \text{m}^2 = 1690 \text{W} = 1,69 \text{kW}$$

Ενέργεια: $Q = \dot{Q} \cdot \Delta t = 1,69 \text{kW} \cdot 10 \text{h} = 16,9 \text{kWh}$

Κόστος: $K = 16,9 \text{ kWh} \cdot 0,075 \text{ €/kWh} = 1,2675 \text{ ευρώ}$

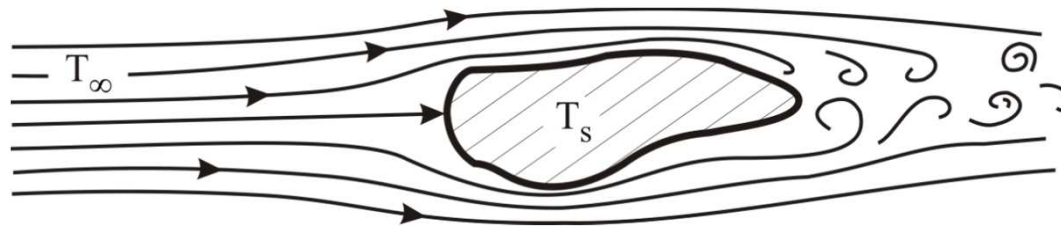


Συναγωγή (1/6)

- Σύνθεση δύο μηχανισμών.
- Μεταφορά ενέργειας:
 - i. λόγω τυχαίας κίνησης μορίων (διάχυση).
 - ii. λόγω μακροσκοπικής κίνησης του ρευστού.



Συναγωγή (2/6)



Εικόνα 2: Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή γύρω από σώμα



Συναγωγή (3/6)

Μορφές:

- εξηναγκασμένη συναγωγή.
- ελεύθερη (ή φυσική) συναγωγή.
- συνδυασμένη συναγωγή: μικρές ταχύτητες – ισχυρή άνωση.



Συναγωγή (4/6)

- Εξίσωση ρυθμού: $\dot{q}'' = h(T_s - T_\infty)$
- Νόμος Newton (ψύξης).
- h (ή α) [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]: συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ή συναγωγής.
- Περιέχει όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν την συναγωγή.



Συναγωγή (5/6)

- Εξαρτάται από τις συνθήκες στο οριακό στρώμα που επηρεάζεται από:
 - γεωμετρία επιφάνειας.
 - φύση κίνησης του ρευστού.



Συναγωγή (6/6)

- | • Διαδικασία | h (W/m ² . K) |
|----------------------------|----------------------------|
| ▪ Ελεύθερη συναγωγή | |
| – Αέρια | 2-25 |
| – Υγρά | 50-1000 |
| ▪ Εξαναγκασμένη συναγωγή | |
| – Αέρια | 25-250 |
| – Υγρά | 50-20000 |
| ▪ Συναγωγή με αλλαγή φάσης | |
| – Βρασμός ή συμπύκνωση | 2500-100000 |



Ακτινοβολία

- Θερμική ακτινοβολία: Ενέργεια που εκπέμπεται από ύλη που βρίσκεται σε πεπερασμένη θερμοκρασία.
 - Παράδειγμα: Άνθρωπος σε χώρο ίδιας θερμοκρασίας το χειμώνα και το καλοκαίρι.
- Ακτινοβολούν: Στερεά – υγρά – αέρια



Ακτινοβολία (1/5)

- Οφείλεται στις αλλαγές της διάταξης των ηλεκτρονίων.
- Μεταφέρεται με Η/Μ κύματα (φωτόνια).
- Δεν απαιτεί ύπαρξη μέσου.



Ακτινοβολία (2/5)

- Μέγιστη θερμορροή: (μέλαν σώμα).
- Νόμος Stefan – Boltzmann

$$\dot{q}'' = \sigma T_s^4$$

- T_s : απόλυτη θερμοκρασία (K) επιφάνειας.
- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$



Ακτινοβολία (3/5)

- Πραγματικό σώμα: $\dot{q}'' = \varepsilon \sigma T_s^4$
 - ε : συντελεστής εκπομπής $0 \leq \varepsilon \leq 1$
- Απορρόφηση: $\dot{q}''_{\text{abs}} = \alpha \dot{q}''_{\text{inc}}$
 - α : συντελεστής απορρόφησης $0 \leq \alpha \leq 1$



Ακτινοβολία (4/5)

- Συναλλαγή θερμικής ακτινοβολίας μεταξύ επιφανειών.

$$\dot{q}'' = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4)$$

- $\alpha = \varepsilon$, τεφρά (ή γκρίζα) επιφάνεια.



Ακτινοβολία (5/5)

- Ταυτόχρονα μπορεί και συναγωγή.
- Συνολική θερμορροή από την επιφάνεια:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}}$$

$$\dot{Q} = h A (T_s - T_\infty) + \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4)$$



Παράδειγμα

- Άνθρωπος: $A = 1,4 \text{ m}^2$, $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 0.95$
- Τοιχώματα: Καλοκαίρι $^\circ\text{C}$, χειμώνας $10 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_x &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A(T_s - T_{p,x}) = \\ &= 0,95 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4 \times 1.4 \text{ m}^2 \times (303^4 - 283^4) = \\ &= 152 \text{ W}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_k &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A(T_s - T_{p,k}) = \\ &= 0,95 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4 \times 1.4 \text{ m}^2 \times (303^4 - 298^4) = \\ &= 40,9 \text{ W}\end{aligned}$$



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Καδή Στυλιανή. «ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. Εισαγωγή». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS421/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/6)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Αγωγή θερμότητας μέσω αερίου που χωρίζει δύο στερεά τοιχώματα: Σελίδα 19, Εισαγωγή στη Μετάδοση Θερμότητας, Βασίλης Χατζηαθανασίου, εκδόσεις Σοφία

- Εικόνα 2:

Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή γύρω από σώμα: Σελίδα 14, Εισαγωγή στη Μετάδοση Θερμότητας, Βασίλης Χατζηαθανασίου, εκδόσεις Σοφία





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2014-2015





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

