



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



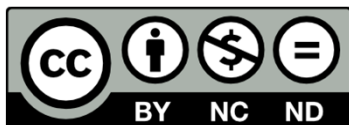
# ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

## Ενότητα 3: Συναγωγή

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



# Συναγωγή



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. Συντελεστής συναγωγής
2. Υδροδυναμικό οριακό στρώμα
3. Θερμικό οριακό στρώμα
4. Τύποι ροής
5. Ομοιότητα
6. Φυσική σημασία αδιάστατων αριθμών
7. Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου



# Συναγωγή (1/6)

---

- Σύνθετος μηχανισμός. Η μετάδοση θερμότητας οφείλεται στην:
  - κίνηση του ρευστού και στην
  - αγωγή θερμότητας.



# Συναγωγή (2/6)

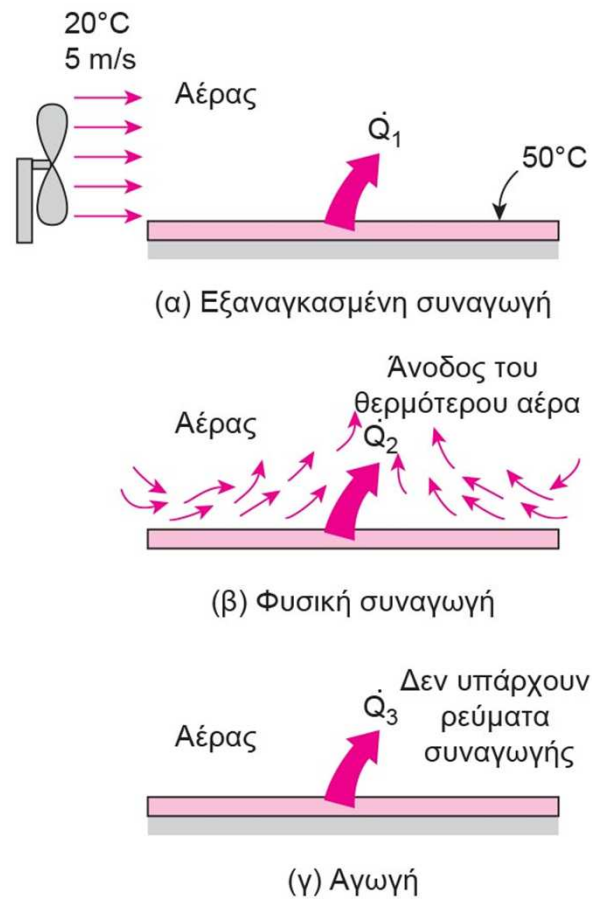
---

– Η συναγωγή, ανάλογα με τον τύπο της ροής, διακρίνεται σε:

- ελεύθερη.
- εξηναγκασμένη.
- συνδυασμένη.



# Συναγωγή (3/6)



**Εικόνα 1:** Μεταφορά θερμότητας από μία θερμή επιφάνεια προς το περιβάλλον ρευστό με συναγωγή και αγωγή





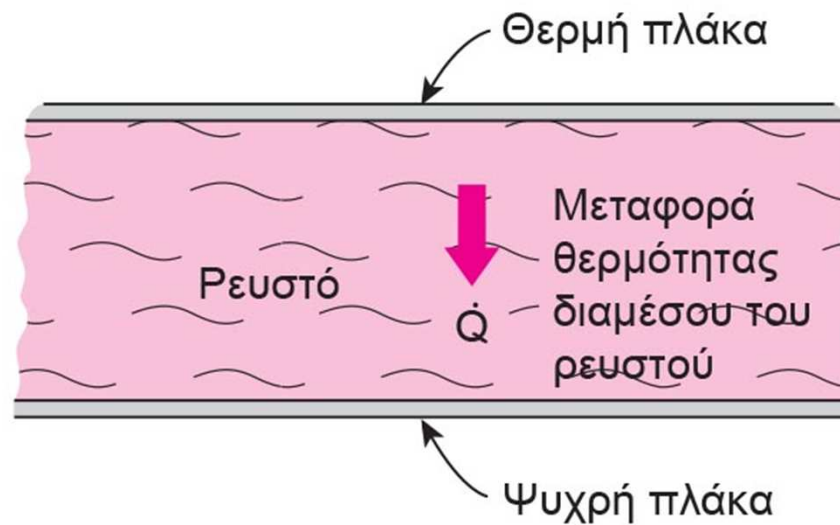
# Συναγωγή (4/6)

---

- Η κίνηση του ρευστού ενισχύει τη μεταφορά θερμότητας.
- Όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα τόσο υψηλότερος ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας.



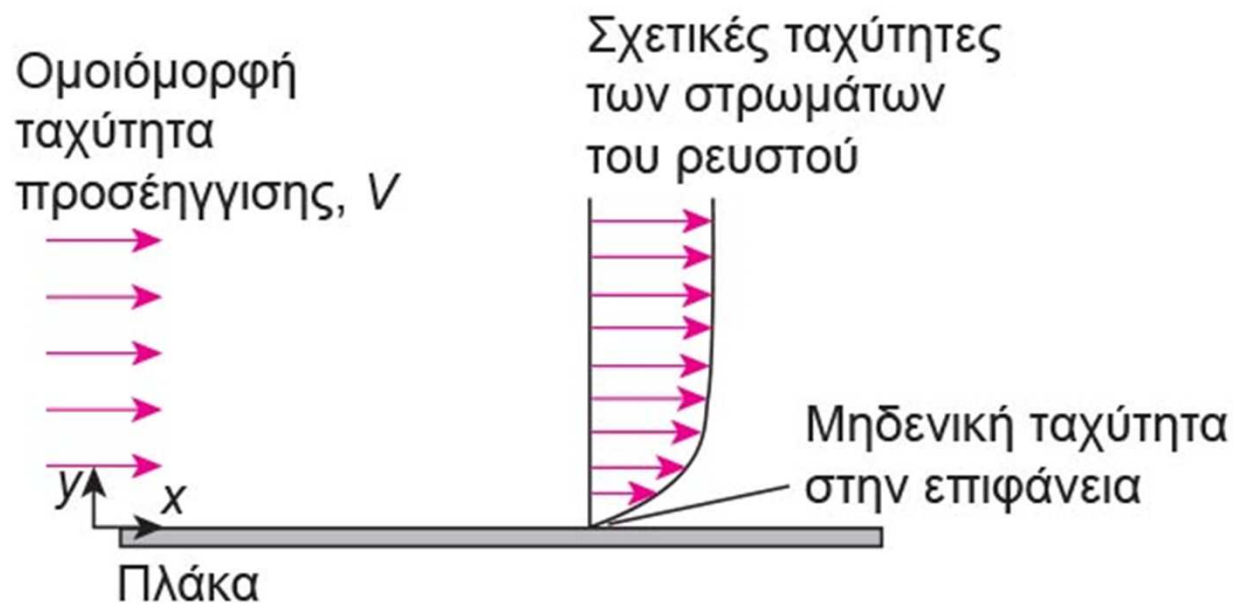
# Συναγωγή (5/6)



**Εικόνα 2:** Μεταφορά θερμότητας διαμέσου ενός ρευστού που βρίσκεται τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες



# Συναγωγή (6/6)



**Εικόνα 3:** Ένα ρευστό που ρέει πάνω από μία στάσιμη επιφάνεια σταματά πλήρως στην επιφάνεια εξαιτίας της συνθήκης μη-ολίσθησης



# Συντελεστής συναγωγής (1/4)

---

– Γενικά:  $\dot{q}'' = h(T_s - T_\infty)$

- $h$ : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty)$$

- Εξαρτάται από:
  - τις ιδιότητες (πυκνότητα, ιξώδες,  $\lambda$ ,  $C_p, \dots$ ).
  - τη γεωμετρία επιφάνειας.
  - τις συνθήκες ροής.



# Συντελεστής συναγωγής (2/4)

---

- Λόγω πιθανής μεταβολής των συνθηκών της ροής από θέση σε θέση, θα έχουμε:
  - τοπικό συντελεστή συναγωγής.
  - μέσο συντελεστή συναγωγής.



# Συντελεστής συναγωγής (3/4)

---

- Τοπικός συντελεστής συναγωγής:

$$\dot{q}'' = h_x (T_s - T_\infty)$$

- Ολική θερμορροή:

$$\dot{Q} = \int_{A_s} \dot{q}'' dA_s = (T_s - T_\infty) \int_{A_s} h_x dA_s$$



# Συντελεστής συναγωγής (4/4)

---

- Μέσος συντελεστής:

$$\dot{Q} = hA_s (T_s - T_\infty) \quad h = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} h_x dA_s$$

- π.χ επίπεδη πλάκα:

$$h = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx$$



# Συναγωγή (1/2)

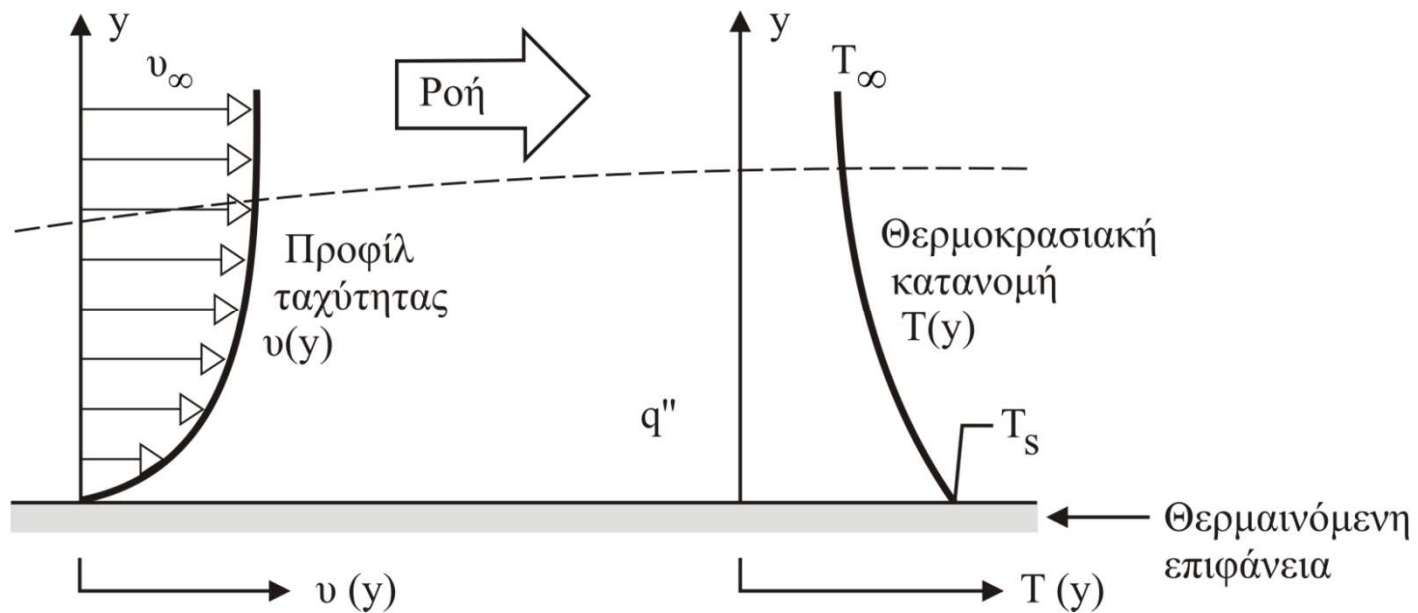
---

- Εξαρτάται από τις συνθήκες στα:
  - Υδροδυναμικό οριακό στρώμα ή στρώμα ταχύτητας.
  - Θερμικό οριακό στρώμα.





# Συναγωγή (2/2)

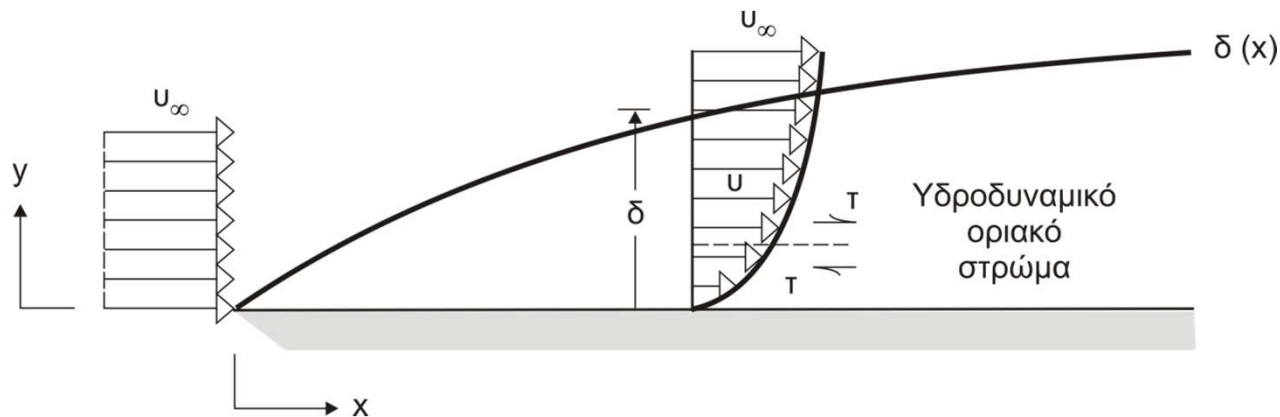


Εικόνα 4: Οριακό στρώμα μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή



# Υδροδυναμικό οριακό στρώμα

- Ονομάζεται η περιοχή της ροής πάνω από μια επίπεδη πλάκα στην οποία γίνονται αισθητές οι επιδράσεις των διατμητικών τάσεων ιξώδους.



Εικόνα 5: Σχηματισμός υδροδυναμικού οριακού στρώματος για ροή πάνω από επίπεδη επιφάνεια

- Πάχος οριακού στρώματος  $\delta$ : η απόσταση από την επιφάνεια όπου:  $u = 0.99u_\infty$



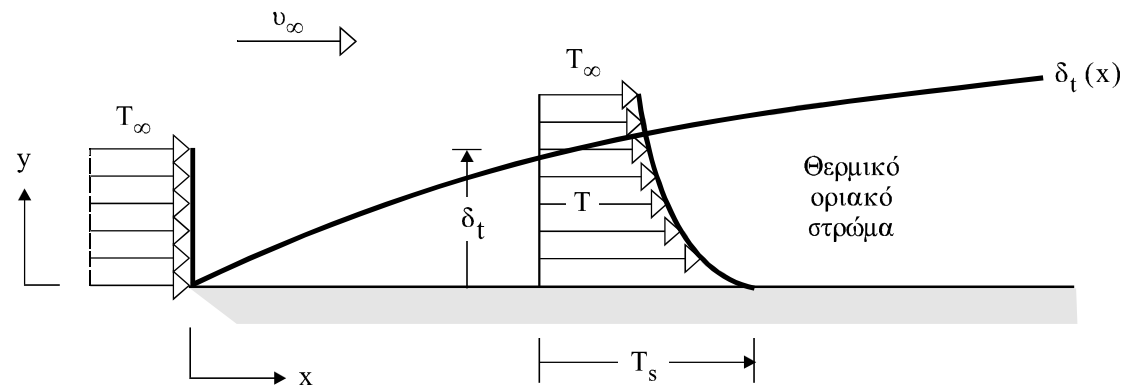
# Θερμικό οριακό στρώμα (1/3)

---

- Ονομάζεται η περιοχή ροής στην επιφάνεια στην οποία η μεταβολή της θερμοκρασίας στην κάθετη στην επιφάνεια διεύθυνση είναι σημαντική.
- Αναπτύσσεται όταν υπάρχει ροή και  $\Delta T$ .
- Στην άκρη το θερμοκρασιακό προφίλ είναι ομοιόμορφο.
- Μεταφορά ενέργειας από τα σωματίδια τα γειτονικά στην επιφάνεια προς τα άλλα.



# Θερμικό οριακό στρώμα (2/3)



Εικόνα 6: Σχηματισμός θερμικού οριακού στρώματος για ροή πάνω από επίπεδη ισοθερμική επιφάνεια



# Θερμικό οριακό στρώμα (3/3)

---

- Πάχος  $\delta_t$ : 
$$\frac{T_s - T}{T_s - T_\infty} = 0.99$$



# Σχέση μεταξύ οριακού στρώματος και $h$ (1/2)

- Στην επιφάνεια: δεν υπάρχει κίνηση του ρευστού - μόνο αγωγή
- Τοπική θερμορροή :

$$\dot{q}'' = -\lambda_f \left. \frac{\partial T}{\partial Y} \right|_{y=0} \quad \dot{q}'' = h(T_s - T_\infty)$$

- Άρα: 
$$h = \frac{-\lambda_f \left. \frac{\partial T}{\partial Y} \right|_{y=0}}{T_s - T_\infty}$$



# Σχέση μεταξύ οριακού στρώματος και $h$ (2/2)

---

- Θερμοκρασιακές κλίσεις: εξαρτώνται από τις συνθήκες του οριακού στρώματος.
- Επίδραση στον  $h$ .



# Θερμικό οριακό στρώμα

---

- αύξηση  $x \rightarrow$  αύξηση  $\delta_t \rightarrow$   
μείωση θερμοκρασιακών κλίσεων  $\rightarrow$   
μείωση  $\dot{q}''$  και  $h$ .





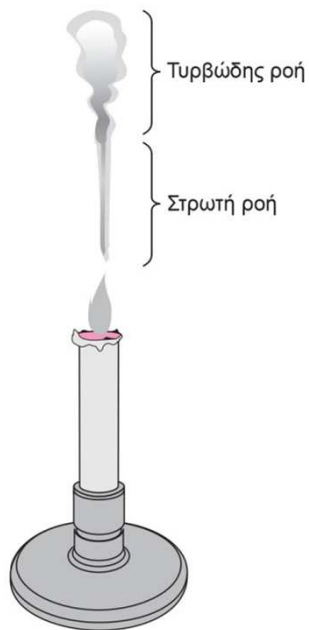
# Τύποι ροής (1/9)

---

- Στρωτή- τυρβώδης
  - Στρωτή: οι τροχιές όλων των σωματιδίων του ρευστού είναι παράλληλες και η κίνηση είναι ομαλή.
  - Τυρβώδης: όλα τα μεγέθη είναι στοχαστικά και η κίνηση έντονα ανώμαλη.



# Τύποι ροής (2/9)



**Εικόνα 7:** Εμφάνιση στρωτής και τυρβώδους ροής στον καπνό



(α) Πρίν την τύρβη

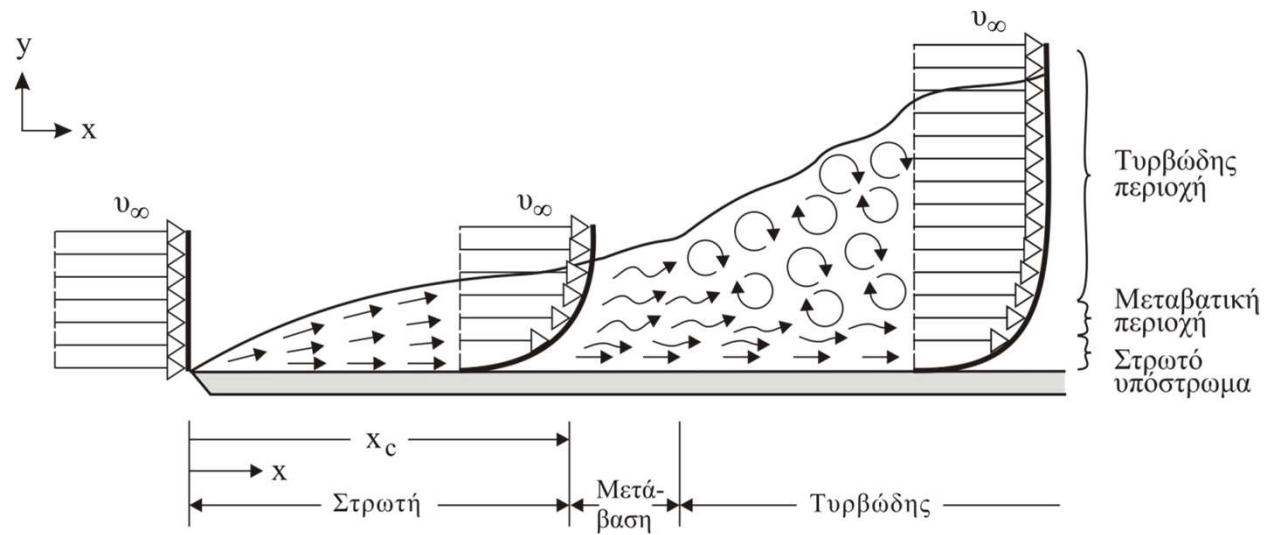


(β) Μετά την τύρβη

**Εικόνα 8:** Η έντονη μίξη στην τυρβώδη ροή φέρει τα σωματίδια του ρευστού που βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες σε πολύ στενή επαφή, ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό τη μεταφορά θερμότητας



# Τύποι ροής (3/9)



**Εικόνα 9:** Σχηματισμός υδροδυναμικού οριακού στρώματος για ροή πάνω από επίπεδη επιφάνεια



# Τύποι ροής (4/9)

---

- Μετάβαση από στρωτή σε τυρβώδη:
  - κρίσιμη απόσταση (επίπεδη επιφάνεια).
  - κρίσιμη ταχύτητα (κύλινδρος).



# Τύποι ροής (5/9)

---

- Θέση μετάβασης από στρωτή σε τυρβώδη για ροή πάνω από επίπεδη επιφάνεια:

$$Re_{x,c} = \frac{\rho v_{\infty} x_c}{\mu} = \frac{v_{\infty} x_c}{\nu} = 5 \times 10^5$$

- $\mu$  [N.s/m<sup>2</sup>] ή [kg/m.s]: δυναμικό ιξώδες
- $\nu$  [m<sup>2</sup>/s] : κινηματικό ιξώδες



# Τύποι ροής (6/9)

---

- Ταχύτητα μετάβασης από στρωτή σε τυρβώδη για ροή σε κύλινδρο:

$$Re_{D,c} = \frac{v_c D}{\nu} = 2300$$



# Τύποι ροής (7/9)

---

- $\frac{x_c}{L} \leq 0.95$  : στρωτή και τυρβώδης
- $0.95 \leq \frac{x_c}{L} \leq 1$  : στρωτή



# Τύποι ροής (8/9)

---

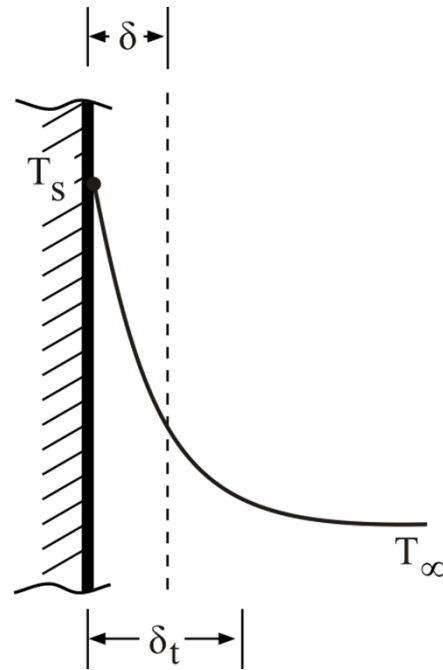
Μετάδοση θερμότητας σε:

- Στρωτή ροή: με αγωγιμότητα, κάθετα στο τοίχωμα
- Τυρβώδη ροή: με αγωγιμότητα στο οριακό στρώμα και ανάμιξη στο υπόλοιπο υγρό. Η ένταση εξαρτάται κύρια από τη θερμική αντίσταση του οριακού στρώματος.





# Τύποι ροής (9/9)



Εικόνα 10: Κατανομή θερμοκρασίας στο οριακό στρώμα



# Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής (1/8)

---

- 1. Για τον υπολογισμό του  $Q$  απαιτείται ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας  $h$  (ή  $a$ ):

$$h = -\frac{\lambda}{\Delta T} \frac{dT}{dx}$$

— εξίσωση μετάδοσης.



# Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής (2/8)

---

- εξίσωση μετάδοσης:

$$\dot{q}'' = h(T_s - T_\infty) = h \cdot \Delta T$$

$$h = - \frac{\lambda}{\Delta T} \frac{\partial T}{\partial y}$$



# Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής (3/8)

---

- 2. Για να βρεθεί το  $h$  απαιτείται η κλίση θερμοκρασίας, άρα η κατανομή της θερμοκρασίας στο υγρό.

– εξίσωση αγωγιμότητας.



# Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής (4/8)

*Εξίσωση αγωγιμότητας:*

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{\lambda} = \frac{1}{a} \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{\lambda} = \frac{1}{a} \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_x \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$



# Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής (5/8)

---

- 3. Η εξίσωση αγωγιμότητας περιλαμβάνει και τις συνιστώσες της ταχύτητας  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$ . Άρα, σε κινούμενο υγρό, το πεδίο της θερμοκρασίας εξαρτάται από την κατανομή της ταχύτητας.
  - *Εξίσωση ροής* (Προκύπτει από το 2<sup>ο</sup> Νόμο του Newton).



# Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής (6/8)

Εξίσωση ροής:

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial v_x}{\partial t} + \rho \left( v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = \\ & = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) \\ & \rho \frac{\partial v_y}{\partial t} + \rho \left( v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = \\ & = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) \\ & \rho \frac{\partial v_z}{\partial t} + \rho \left( v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \\ & = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned}$$



# Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής (7/8)

---

- 4. Στην εξίσωση ροής εμφανίζεται ένας τέταρτος άγνωστος, η πίεση. Χρειαζόμαστε λοιπόν μια τέταρτη εξίσωση.
  - *Εξίσωση συνέχειας* (Προκύπτει από το νόμο διατήρησης της μάζας).





# Υπολογισμός συντελεστή συναγωγής (8/8)

---

Εξίσωση συνέχειας:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$$



# Ομοιότητα (1/11)

---

- Λύση συστήματος εξισώσεων (μαζί με αρχικές και οριακές συνθήκες):

*δύσκολη ή και αδύνατη*

- Μετρήσεις: δύσκολες ή αδύνατες στο φυσικό πρόβλημα.
- Πείραμα – Αναγωγή στο φυσικό πρόβλημα με τη θεωρία της ομοιότητας.



# Ομοιότητα (2/11)

---

- Ομοιότητα: σε οποιαδήποτε διαδικασία.
- Αναγωγή: με τους αδιάστατους χαρακτηριστικούς αριθμούς.
- Ομοιότητα: ισότητα χαρακτηριστικών αριθμών σε μοντέλο και φυσική διαδικασία.



# Ομοιότητα (3/11)

---

- Ονομασία:  $R_e$ ,  $P_v$ ,...
- Κύρια ιδιότητα αριθμών: **αδιάστατοι**.
- Προκύπτουν από συνδυασμό φυσικών μεγεθών.



# Ομοιότητα (4/11)

---

- 1<sup>ο</sup> σύστημα:

$$a_1 \cdot \nabla^2 T_1 = \frac{\partial T_1}{\partial t_1}$$

$$h_1 \cdot \Delta T_1 = -\lambda_1 \frac{dT_1}{dx_1}$$



# Ομοιότητα (5/11)

---

- 2<sup>ο</sup> σύστημα:

$$a_2 \cdot \nabla^2 T_2 = \frac{\partial T_2}{\partial t_2}$$

$$h_2 \cdot \Delta T_2 = -\lambda_2 \frac{dT_2}{dx_2}$$



# Ομοιότητα (6/11)

---

- $c$ : σταθερές ομοιότητας

$$\frac{a_2}{a_1} = c_a, \frac{h_2}{h_1} = c_h, \frac{T_2}{T_1} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = c_T$$

$$\frac{t_2}{t_1} = c_t, \frac{x_2}{x_1} = c_x, \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = c_\lambda$$



# Ομοιότητα (7/11)

---

$$\frac{c_a \cdot c_T}{c_x^2} a_1 \nabla^2 T_1 = \frac{c_T}{c_t} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t_1}$$

$$c_h c_T h_1 \Delta T_1 = - \frac{c_\lambda c_T}{c_x} \lambda_1 \frac{dT_1}{dt_1}$$





# Ομοιότητα (8/11)

$$\left. \begin{aligned} \frac{c_a c_T}{c_x^2} = \frac{c_T}{c_t} &\Rightarrow \frac{c_a c_t}{c_x^2} = 1 \\ c_h c_T = \frac{c_\lambda c_T}{c_x} &\Rightarrow \frac{c_h c_x}{c_\lambda} = 1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\frac{at}{L^2} = Fo = ct \qquad \frac{hL}{\lambda} = Nu = ct$$



# Ομοιότητα (9/11)

---

$$\frac{v_1 x_1}{a_1} = \frac{v_2 x_2}{a_2}$$

$$\frac{vL}{a} = Pe$$

- Θερμική ομοιότητα:  $Fo, Nu, Pe$  *ίσοι*



# Ομοιότητα (10/11)

- Υδροδυναμική ομοιότητα: Ισότητα  $R_e = \frac{v \cdot l}{\nu}$
- Φυσική συναγωγή:  $G_r$  αντί  $R_e$

$$G_r = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)l^3}{\nu^2}$$

- $\beta(^{\circ}\text{C}^{-1})$ : συντελεστής θερμικής διαστολής  
– για τέλεια αέρια  $\beta = \frac{1}{T}$   $T$ : απόλυτη



# Ομοιότητα (11/11)

---

- $N_u \rightarrow h$
- $N_u = f(F_o, R_e, G, P_r)$
- Εξηναγκασμένη, σταθερή:  $N_u = f(R_e, P_r)$
- Φυσική, σταθερή:  $N_u = f(G_r, P_r)$



# Φυσική σημασία αδιάστατων αριθμών (1/6)

- Αριθμός  $R_e$

$$Re \equiv \frac{vl}{\nu} = \frac{\rho vl}{\mu} = \frac{\rho v^2}{\mu v/R} = \frac{\rho v^2/L}{\mu v/L^2}$$

–  $\rho v^2$ : ροή ορμής ανά μονάδα επιφάνειας.

Μέγεθος χαρακτηριστικό της δύναμης αδράνειας ανά μονάδα επιφάνειας του ρευστού.

$\mu \frac{v}{l}$  : χαρακτηριστικό των διατμητικών τάσεων.



# Φυσική σημασία αδιάστατων αριθμών (2/6)

---

- $R_e$ : Μέτρο του σχετικού μεγέθους των δυνάμεων αδρανείας προς τις δυνάμεις του ιξώδους.
- $R_e$  μικρό:
  - Δυνάμεις ιξώδους  $\gg$  δυνάμεις ορμής  $\rightarrow$  *στρωτή ροή*.
- $R_e$  μεγάλο:
  - δυνάμεις αδρανείας  $\gg$  δυνάμεις ιξώδους  $\rightarrow$  *τυρβώδης ροή*.



# Φυσική σημασία αδιάστατων αριθμών (3/6)

---

- Αριθμός Pr:

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

– λόγος διάχυσης ορμής προς θερμική διάχυση.

- Μέτρο της σχετικής αποτελεσματικότητας μεταφοράς ορμής και ενέργειας με διάχυση στα οριακά στρώματα ταχύτητας και θερμότητας.



# Φυσική σημασία αδιάστατων αριθμών (4/6)

---

- Αέρια:  $Pr \cong 1$ : Μεταφορά ενέργειας και ορμής με διάχυση συγκρίσιμες.
- Υγρά μέταλλα:  $Pr \ll 1$ : ρυθμός διάχυσης ενέργειας πολύ μεγαλύτερος του ρυθμού διάχυσης ορμής.
- Λάδια:  $Pr \gg 1$ : αντίθετα





# Φυσική σημασία αδιάστατων αριθμών (5/6)

---

- Αριθμός Gr:

$$G_r = \frac{g\beta\Delta TL^3\rho^2}{\mu^2} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

- Σύγκριση δύναμης άνωσης προς δύναμη τριβής.
- Gr μεγάλος: δυνάμεις τριβής αμελητέες.
- Gr μικρός: αμελητέα η δύναμη άνωσης.



# Φυσική σημασία αδιάστατων αριθμών (6/6)

- Αριθμός Nu:

$$\left. \begin{aligned} \dot{q}'' &= h \Delta T \\ \dot{q}''_{\lambda} &= \lambda \frac{\Delta T}{L} \end{aligned} \right\} \frac{\dot{q}''}{\dot{q}''_{\lambda}} = \frac{hL}{\lambda} = N_u$$

- Nu: πραγματική ροή προς τη ροή στο ρευστό μόνο με αγωγή υπό την επίδραση κλίσης  $\Delta T/L$ .



# Ροή παράλληλη σε επίπεδη επιφάνεια (1/7)

---

- Στρωτή ροή ( $Re_L < Re_{cr} = 5 \times 10^5$ )

– Τοπικός Nu:

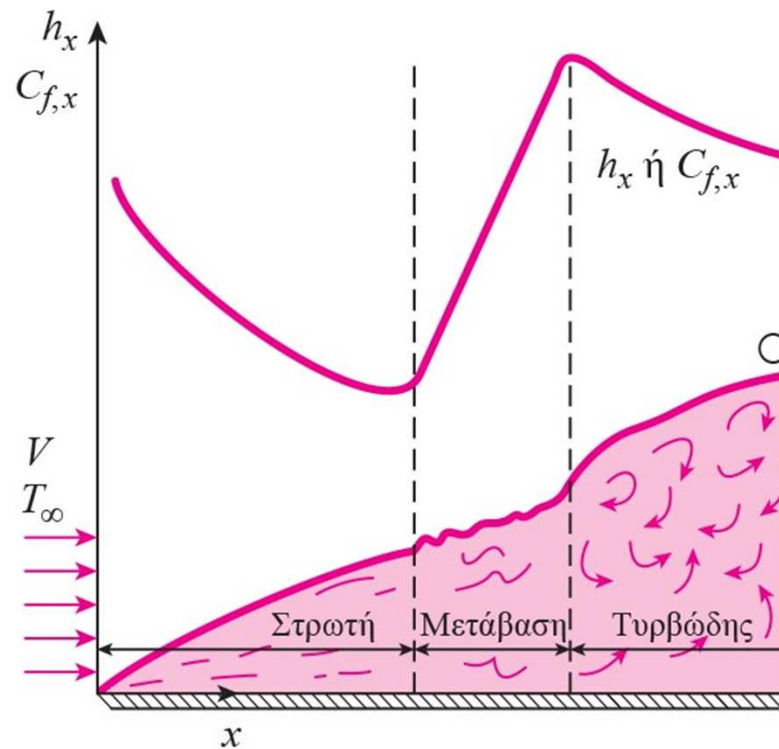
$$Nu_x = \frac{h_x x}{\lambda} = 0,332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \geq 0,6$$

– Μέσος Nu:

$$Nu = \frac{hL}{\lambda} = 0,664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \geq 0,6$$



# Ροή παράλληλη σε επίπεδη επιφάνεια (2/7)



**Εικόνα 11:** Μεταβολή των τοπικών συντελεστών τριβής και μεταφοράς θερμότητας για τη ροή πάνω από μία επίπεδη πλάκα



# Ροή παράλληλη σε επίπεδη επιφάνεια (3/7)

- Τυρβώδης ροή (  $Re_L > Re_{cr} = 5 \times 10^5$  ή  $x_{cr} \ll L$  )

– Τοπικός Nu:

$$Nu_x = \frac{h_x x}{\lambda} = 0,0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3} \quad \begin{array}{l} 0,6 \leq Pr \leq 60 \\ 5 \times 10^5 \leq Re_x \leq 10^8 \end{array}$$

– Μέσος Nu:

$$Nu = \frac{hL}{\lambda} = 0,037 Re_L^{4/5} Pr^{1/3} \quad \begin{array}{l} 0,6 \leq Pr \leq 60 \\ 5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^8 \end{array}$$



# Ροή παράλληλη σε επίπεδη επιφάνεια (4/7)

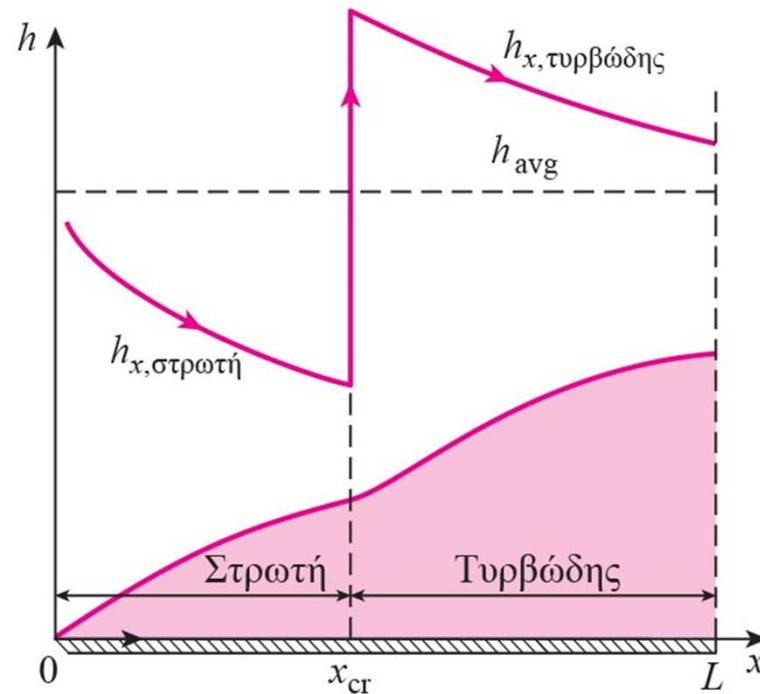
---

- Συνδυασμένη στρωτή και τυρβώδης ροή

$$\text{Nu} = \frac{hL}{\lambda} = (0,037 \text{Re}_L^{4/5} - 871) \text{Pr}^{1/3} \quad \begin{array}{l} 0,6 \leq \text{Pr} \leq 60 \\ 5 \times 10^5 \leq \text{Re}_L \leq 10^8 \end{array}$$



# Ροή παράλληλη σε επίπεδη επιφάνεια (5/7)



**Εικόνα 12:** Γραφική αναπαράσταση του μέσου συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για μια επίπεδη πλάκα με συνδυασμένη στρωτή και τυρβώδη ροή



# Ροή παράλληλη σε επίπεδη επιφάνεια (6/7)

---

- Οι προηγούμενες σχέσεις ισχύουν για ομοιόμορφη θερμοκρασία τοιχώματος
- Αν έχουμε ομοιόμορφη ροή θερμότητας τότε:

– Για στρωτή ροή: 
$$\text{Nu}_x = 0,453 \text{Re}_x^{1/2} \text{Pr}^{1/3}$$

– Για τυρβώδη: 
$$\text{Nu}_x = 0,0308 \text{Re}_x^{4/5} \text{Pr}^{1/3}$$





# Ροή παράλληλη σε επίπεδη επιφάνεια (7/7)

---

- Σε όλες τις παραπάνω σχέσεις οι ιδιότητες του ρευστού υπολογίζονται στη θερμοκρασία στρώματος:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$



# Κύλινδρος και σφαίρα σε εγκάρσια ροή (1/3)

- Κύλινδρος κυκλικής διατομής:

$$\text{Nu}_D = \frac{hD}{\lambda} = 0.3 + \frac{0.62 \text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3}}{[1 + (0.4/\text{Pr})^{2/3}]^{1/4}} \left[ 1 + \left( \frac{\text{Re}}{28200} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$$

- Σφαίρα:

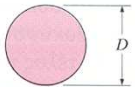
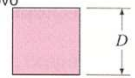
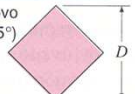
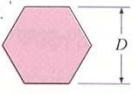
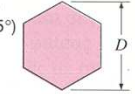
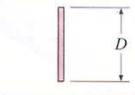
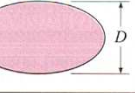
$$\text{Nu}_D = \frac{hD}{\lambda} = 2 + (0,4 \text{Re}^{1/2} + 0,06 \text{Re}^{2/3}) \text{Pr}^{0,4} \left( \frac{\mu_\infty}{\mu_s} \right)^{1/4}$$

$$3.5 \leq \text{Re} \leq 80000$$

$$0.7 \leq \text{Pr} \leq 380$$



# Κύλινδρος και σφαίρα σε εγκάρσια ροή (2/3)

Διατομή κυλίνδρου	Ρευστό	Τιμές του Re	Αριθμός Nusselt
Κύκλος 	Αέριο ή υγρό	0,4 – 4 4 – 40 40 – 4000 4000 – 40,000 40,000 – 400,000	$Nu = 0.989 Re^{0.330} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.911 Re^{0.385} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.683 Re^{0.466} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.193 Re^{0.618} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$
Τετράγωνο 	Αέριο	5000 – 100,000	$Nu = 0.102 Re^{0.675} Pr^{1/3}$
Τετράγωνο (κλίση 45°) 	Αέριο	5000 – 100,000	$Nu = 0.246 Re^{0.588} Pr^{1/3}$
Εξάγωνο 	Αέριο	5000 – 100,000	$Nu = 0.153 Re^{0.638} Pr^{1/3}$
Εξάγωνο (κλίση 45°) 	Αέριο	5000 – 19,500 19,500 – 100,000	$Nu = 0.160 Re^{0.638} Pr^{1/3}$ $Nu = 0.0385 Re^{0.782} Pr^{1/3}$
Κάθετη πλάκα 	Αέριο	4000 – 15,000	$Nu = 0.228 Re^{0.731} Pr^{1/3}$
Έλλειψη 	Αέριο	2500 – 15,000	$Nu = 0.248 Re^{0.612} Pr^{1/3}$

**Εικόνα 13:** Εμπειρικές συσχετίσεις για το μέσο αριθμό Nusselt για την περίπτωση εξαναγκασμένης συναγωγής πάνω από κυκλικούς και μη κυκλικούς κυλίνδρους στην εγκάρσια ροή



# Κύλινδρος και σφαίρα σε εγκάρσια ροή (3/3)

---

- Σε όλες τις παραπάνω σχέσεις οι ιδιότητες του ρευστού υπολογίζονται στη θερμοκρασία στρώματος  $T_f$  εκτός από την  $\mu_s$  που υπολογίζεται στη θερμοκρασία επιφάνειας  $T_s$ .



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (1/11)

---

- Νόμος Newton:  $\dot{q}'' = h(T_s - T_m)$  (1)
  - $h$ : τοπικός
- $T_m$ : - μέση θερμοκρασία ως προς τη διατομή:
  - Μεταβάλλεται κατά την κατεύθυνση της ροής.
  - Αυξάνεται με το  $x$  όταν  $T_s > T_m$ .
  - Μειώνεται όταν  $T_s < T_m$ .

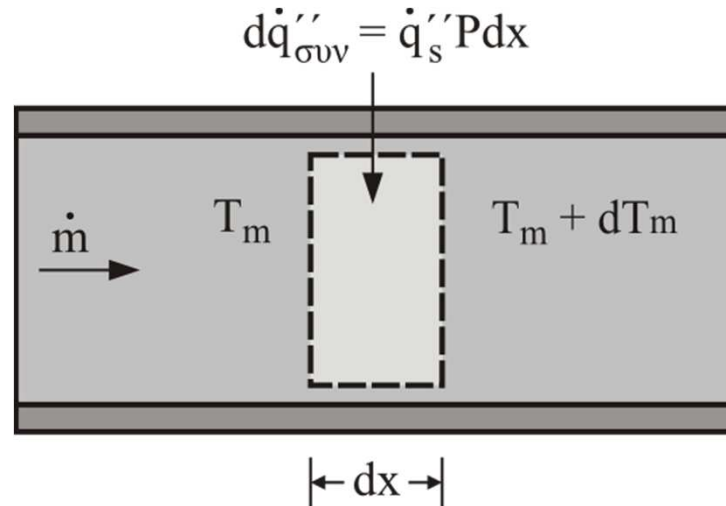


# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (2/11)

- Γενικές σχέσεις:

$$\dot{q}'' = h(T_s - T_m)$$

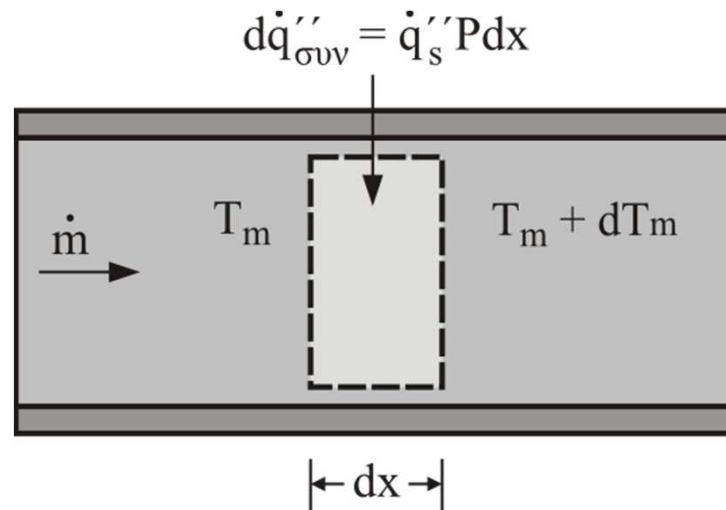
$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{m,\text{εξ}} - T_{m,\text{εισ}}) \quad (2)$$



Εικόνα 14: Ενεργειακό ισοζύγιο σε στοιχειώδη όγκο σωλήνα



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (3/11)



- Ενεργειακό ισοζύγιο:

$$d\dot{q}_{\text{σουν}} = \dot{q}_s'' P dx \quad d\dot{q}_{\text{σουν}} = \dot{m} c_p dT_m \quad (3)$$

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{\dot{q}_s'' P}{\dot{m} c_p} = \frac{P}{\dot{m} c_p} h(T_s - T_m(x))$$



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (4/11)

- Ομοιόμορφη πυκνότητα θερμοροής  $\dot{q}_s'' : ct$

$$\dot{Q} = \int_0^L dq_{\text{συν}} = \dot{q}_s'' \int_0^L P dx = \dot{q}_s'' (P.L.) \quad (4)$$

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{\dot{q}_s'' P}{\dot{m} c_p} \neq f(x)$$

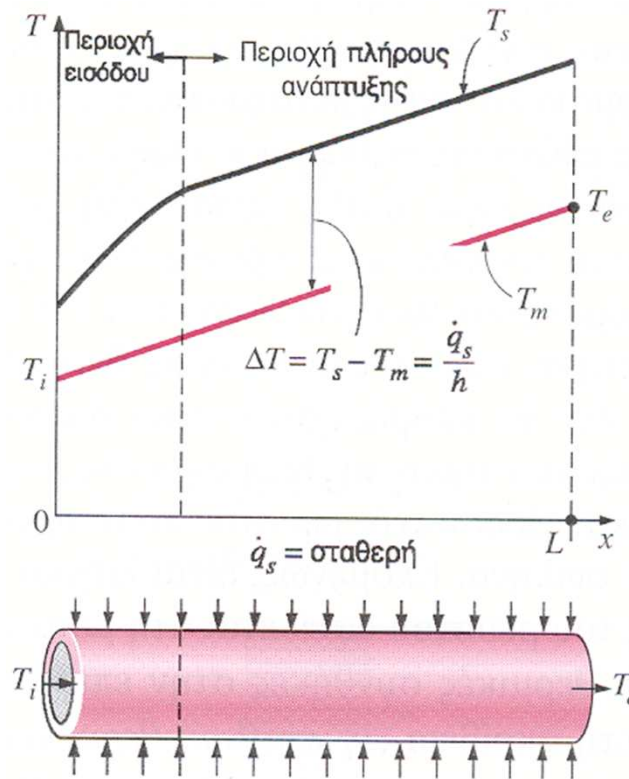
$$T_m(x) = T_{m,\text{εισ}} + \frac{\dot{q}_s'' P}{\dot{m} c_p} x, \quad \dot{q}_s'' : ct$$

- $\searrow$  γραμμική μεταβολή με το  $x$ .





# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (5/11)



**Εικόνα 15:** Μεταβολή της επιφάνειας του σωλήνα και των μέσων θερμοκρασιών του ρευστού κατά μήκος του σωλήνα, για την περίπτωση της σταθερής επιφανειακής ροής θερμότητας



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (6/11)

---

- $T_s - T_m$ : μεταβάλλεται με την απόσταση  $x$ . Η μεταβολή είναι:
  - αρχικά μικρή (λόγω μεγάλου  $h$  στην είσοδο)
  - αυξάνεται λόγω μείωσης  $h$
  - στην πλήρη ανάπτυξη  $h \neq f(x)$  οπότε και  $(T_s - T_m) \neq f(x)$ .



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (7/11)

- Ομοιόμορφη θερμοκρασία τοιχώματος:  
 $T_s:ct$
- Έστω  $\Delta T = T_s - T_m$

- (3)  $\rightarrow \frac{dT_m}{dx} = -\frac{d(\Delta T)}{dx} = \frac{P}{\dot{m}c_p} h \Delta T$

$$\int_{\Delta T_{\text{εισ}}}^{\Delta T_{\text{εξ}}} \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -\int_0^L \frac{P}{\dot{m}c_p} h dx \rightarrow \ln \frac{\Delta T_{\text{εξ}}}{\Delta T_{\text{εισ}}} = -\frac{PL}{\dot{m}c_p} \left( \int_0^L \frac{1}{L} \bar{h} dx \right)$$



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (8/11)

- ή 
$$\ln \frac{\Delta T_{\varepsilon\xi}}{\Delta T_{\varepsilon\iota\sigma}} = -\frac{pL}{\dot{m}c_p} \bar{h} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta T_{\varepsilon\xi}}{\Delta T_{\varepsilon\iota\sigma}} = \frac{T_s - T_{m,\varepsilon\xi}}{T_s - T_{m,\varepsilon\iota\sigma}} = \exp\left(-\frac{PL}{\dot{m}c_p} \bar{h}\right) \quad T_s - ct \quad (6)$$

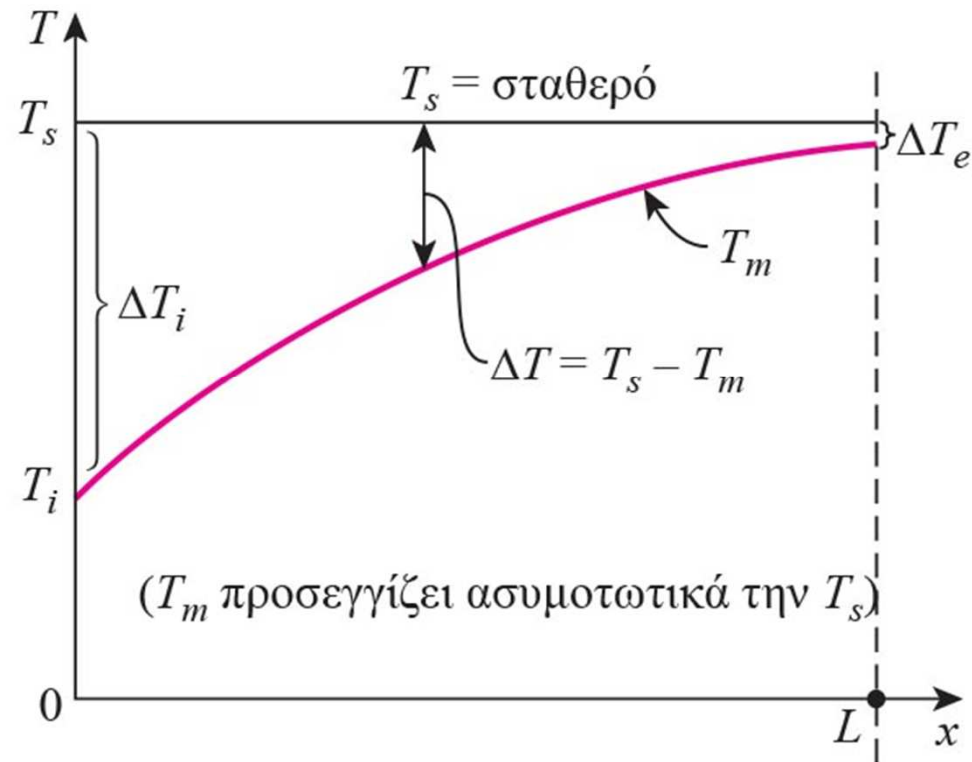
- και

$$\frac{T_s - T_m(x)}{T_s - T_{m,\varepsilon\iota\sigma}} = \exp\left(-\frac{Px}{\dot{m}c_p} \bar{h}\right) \quad T_s - ct \quad (7)$$

- $T_s - T_m$ : μειώνεται εκθετικά.



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (9/11)



**Εικόνα 16:** Μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του ρευστού κατά μήκος του σωλήνα, για την περίπτωση της σταθερής θερμοκρασίας



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (10/11)

---

(2):

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m} c_p (T_{m,\varepsilon\xi} - T_{m,\varepsilon\sigma}) = \\ &= \dot{m} c_p [(T_s - T_{m,\varepsilon\sigma}) - (T_s - T_{m,\varepsilon\xi})] = \\ &= \dot{m} c_p [\Delta T_{\varepsilon\sigma} - \Delta T_{\varepsilon\xi}] \quad (8)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \bar{h} A_s \Delta T_{\ell m} \\ &\mapsto A_s = P \cdot L\end{aligned} \quad (9)$$



# Ροή στο εσωτερικό κυλίνδρου (11/11)

- (5,8)  $\rightarrow \dot{Q} = (PL)\bar{h} \frac{\Delta T_{\varepsilon\xi} - \Delta T_{\varepsilon\sigma}}{\ln(\Delta T_{\varepsilon\xi} / \Delta T_{\varepsilon\sigma})} =$   
 $= \bar{h} A_s \Delta T_{\ell m}$
- (10)  $\Delta T_{\ell m} = \frac{\Delta T_{\varepsilon\xi} - \Delta T_{\varepsilon\sigma}}{\ln(\Delta T_{\varepsilon\xi} / \Delta T_{\varepsilon\sigma})}$
- $\Delta T_{\ell m}$ : λογαριθμική φύση λόγω εκθετικής μείωσης της  $\Delta T$ .



# Παράδειγμα (1/10)

---

Λάδι μηχανής με παροχή  $0,02 \text{ kg/s}$  ρέει στον εσωτερικό σωλήνα μήκους  $25 \text{ m}$  και διαμέτρου  $3 \text{ mm}$ . Το λάδι μπαίνει στο σωλήνα με θερμοκρασία  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  ενώ το τοίχωμα του σωλήνα διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

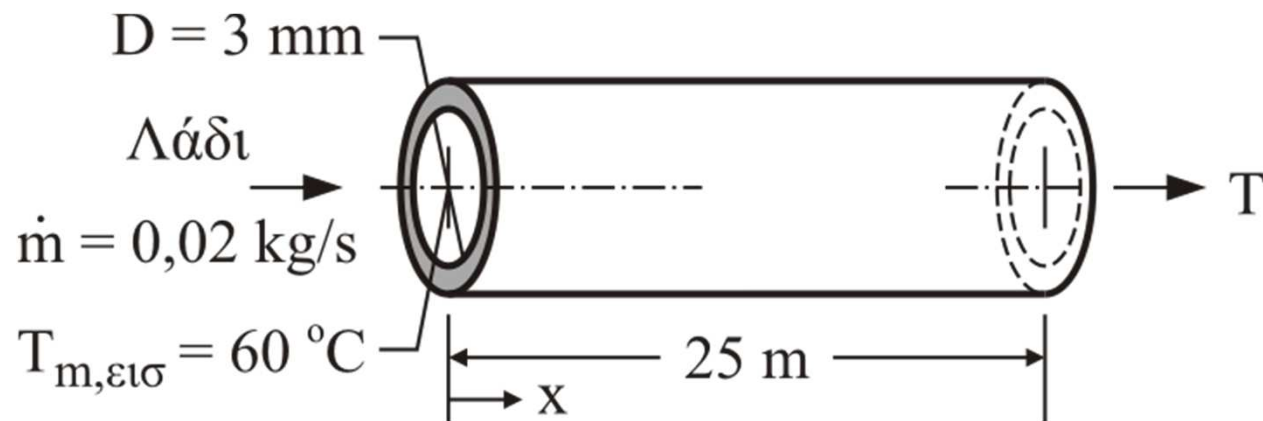
Ζητούνται:

- α. ο μέσος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για το λάδι.
- β. η θερμοκρασία εξόδου του λαδιού.
- γ. η συνολική θερμορροή.





# Παράδειγμα (2/10)



# Παράδειγμα (3/10)

---

- Για μέση θερμοκρασία λαδιού

$$T_m = \frac{60 + 100}{2} = 80^\circ \text{C} \cong 350\text{K}$$

είναι (Πίνακας A5):

- $c_p = 2,118 \text{ kJ/kg.K}$ ,
- $\mu = 3,56 \times 10^{-2} \text{ N s/m}^2$  και
- $\lambda = 138 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$



# Παράδειγμα (4/10)

---

- α. Ο αριθμός Reynolds είναι:

$$\text{Re}_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D\mu} = \frac{4 \times 0,02 \text{ kg/s}}{\pi \times (3 \times 10^{-3} \text{ m}) \times (3,56 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s/m})} \cong 238$$



# Παράδειγμα (5/10)

---

- Είναι:
  - Η ροή του λαδιού στρωτή.
  - Η θερμοκρασία του τοιχώματος του σωλήνα σταθερή.
- Άρα:  $Nu_D = 3,66$ .
- Ο μέσος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας θα είναι:

$$\bar{h} = \frac{\bar{Nu}_D \cdot \lambda}{D} = \frac{3,66 \times 138 \times 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K}}{3 \times 10^{-3} \text{ m}} = 168,36 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$



# Παράδειγμα (6/10)

- β. Η θερμοκρασία εξόδου του λαδιού υπολογίζεται από τη σχέση (για ομοιόμορφη θερμοκρασία τοιχώματος).

$$\frac{\Delta T_{\text{εξ}}}{\Delta T_{\text{εισ}}} = \frac{T_s - T_{m,\text{εξ}}}{T_s - T_{m,\text{εισ}}} = \exp\left(-\frac{PL}{\dot{m}c_p} \bar{h}\right)$$

– όπου  $P=\pi D$  η περίμετρος του σωλήνα.



# Παράδειγμα (7/10)

$$\frac{\Delta T_{\text{εξ}}}{\Delta T_{\text{εισ}}} = \exp \left( - \frac{\pi \times 3 \times 10^{-3} \text{ m} \times 25 \text{ m}}{0,02 \text{ kg/s} \times 2118 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} \times 168,36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right) = 0,392$$

οπότε

$$\begin{aligned} T_{\text{m,εξ}} &= T_s - 0,392(T_s - T_{\text{m,εισ}}) = \\ &= 100^\circ\text{C} - 0,392 \times (100 - 60)^\circ\text{C} = 84,3^\circ\text{C} \end{aligned}$$



# Παράδειγμα (8/10)

---

- γ. Η θερμορροή προς το λάδι είναι:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p (T_{m,\epsilon\sigma} - T_{m,\epsilon\sigma})$$

$$= (0,02\text{kg/s}) \times (2,118 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}) \times (84,32 - 60)^\circ\text{C} = 1.03\text{kW}$$



# Παράδειγμα (9/10)

- Η θερμορροή υπολογίζεται και από τη σχέση:

$$\dot{Q} = \bar{h}A\Delta T_{lm}$$

- όπου

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_{\epsilon\iota\sigma} - \Delta T_{\epsilon\xi}}{\ln \frac{\Delta T_{\epsilon\iota\sigma}}{\Delta T_{\epsilon\xi}}} = \frac{(T_s - T_{m,\epsilon\iota\sigma}) - (T_s - T_{m,\epsilon\xi})}{\ln \frac{T_s - T_{m,\epsilon\iota\sigma}}{T_s - T_{m,\epsilon\xi}}} =$$

$$\frac{(100 - 60) - (100 - 84,3)}{\ln \frac{100 - 60}{100 - 84,3}} \cong 26^\circ \text{C}$$





# Παράδειγμα (10/10)

---

- και

$$\dot{Q} = \bar{h}(\pi DL)\Delta T_{lm}$$

$$= \left(168,36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right) \times \pi \times (3 \times 10^{-3} \text{ m}) \times (25 \text{ m}) \times (26^\circ \text{ C}) =$$

$$1030 \text{ W} = 1,03 \text{ kW}$$



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/4)

---

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Μεταφορά θερμότητας από μία θερμή επιφάνεια προς το περιβάλλον ρευστό με συναγωγή και αγωγή: Σελίδα 422, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 2:

Μεταφορά θερμότητας διαμέσου ενός ρευστού που βρίσκεται τοποθετημένο ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες: Σελίδα 423, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 3:

Ένα ρευστό που ρέει πάνω από μία στάσιμη επιφάνεια σταματά πλήρως στην επιφάνεια εξαιτίας της συνθήκης μη-ολίσθησης: Σελίδα 424, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 4:

Οριακό στρώμα μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή: Σελίδα 71, Εισαγωγή στη Μετάδοση Θερμότητας, Βασίλης Χατζηαθανασίου, εκδόσεις Σοφία



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

---

- Εικόνα 5:

Σχηματισμός υδροδυναμικού οριακού στρώματος για ροή πάνω από επίπεδη επιφάνεια: Σελίδα 74, Εισαγωγή στη Μετάδοση θερμότητας, Βασίλης Χατζηαθανασίου, εκδόσεις Σοφία

- Εικόνα 6:

Σχηματισμός θερμικού οριακού στρώματος για ροή πάνω από επίπεδη ισοθερμική επιφάνεια: Σελίδα 75, Εισαγωγή στη Μετάδοση θερμότητας, Βασίλης Χατζηαθανασίου, εκδόσεις Σοφία

- Εικόνα 7:

Εμφάνιση στρωτής και τυρβώδους ροής στον καπνό: Σελίδα 436, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 8:

Η έντονη μίξη στην τυρβώδη ροή φέρει τα σωματίδια του ρευστού που βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες σε πολύ στενή επαφή, ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό τη μεταφορά θερμότητας: Σελίδα 438, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

---

- Εικόνα 9:

Σχηματισμός υδροδυναμικού οριακού στρώματος για ροή πάνω από επίπεδη επιφάνεια: Σελίδα 76, Εισαγωγή στη Μετάδοση Θερμότητας, Βασίλης Χατζηαθανασίου, εκδόσεις Σοφία

- Εικόνα 10:

Κατανομή θερμοκρασίας στο οριακό στρώμα: Σελίδα 77, Εισαγωγή στη Μετάδοση Θερμότητας, Βασίλης Χατζηαθανασίου, εκδόσεις Σοφία

- Εικόνα 11:

Μεταβολή των τοπικών συντελεστών τριβής και μεταφοράς θερμότητας για τη ροή πάνω από μία επίπεδη πλάκα: Σελίδα 481, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 12:

Γραφική αναπαράσταση του μέσου συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για μια επίπεδη πλάκα με συνδυασμένη στρωτή και τυρβώδη ροή: Σελίδα 481, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

---

- Εικόνα 13:

Εμπειρικές συσχετίσεις για το μέσο αριθμό Nusselt για την περίπτωση εξαναγκασμένης συναγωγής πάνω από κυκλικούς και μη κυκλικούς κυλίνδρους στην εγκάρσια ροή : Σελίδα 494, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 14:

Ενεργειακό ισοζύγιο σε στοιχειώδη όγκο σωλήνα: Σελίδα 101, Εισαγωγή στη Μετάδοση Θερμότητας, Βασίλης Χατζηαθανασίου, εκδόσεις Σοφία

- Εικόνα 15:

Μεταβολή της επιφάνειας του σωλήνα και των μέσων θερμοκρασιών του ρευστού κατά μήκος του σωλήνα, για την περίπτωση της σταθερής επιφανειακής ροής θερμότητας: Σελίδα 535, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 16:

Μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του ρευστού κατά μήκος του σωλήνα, για την περίπτωση της σταθερής θερμοκρασίας : Σελίδα 481, Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα



# Σημείωμα Αναφοράς

---

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Καδή Στυλιανή. «ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ. Συναγωγή». 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/>





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.

