

# Άλλες καταστατικές εξισώσεις

Περιορισμένο το εύρος των συνθηκών στο οποίο η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων μπορεί να εφαρμοστεί με ακρίβεια.

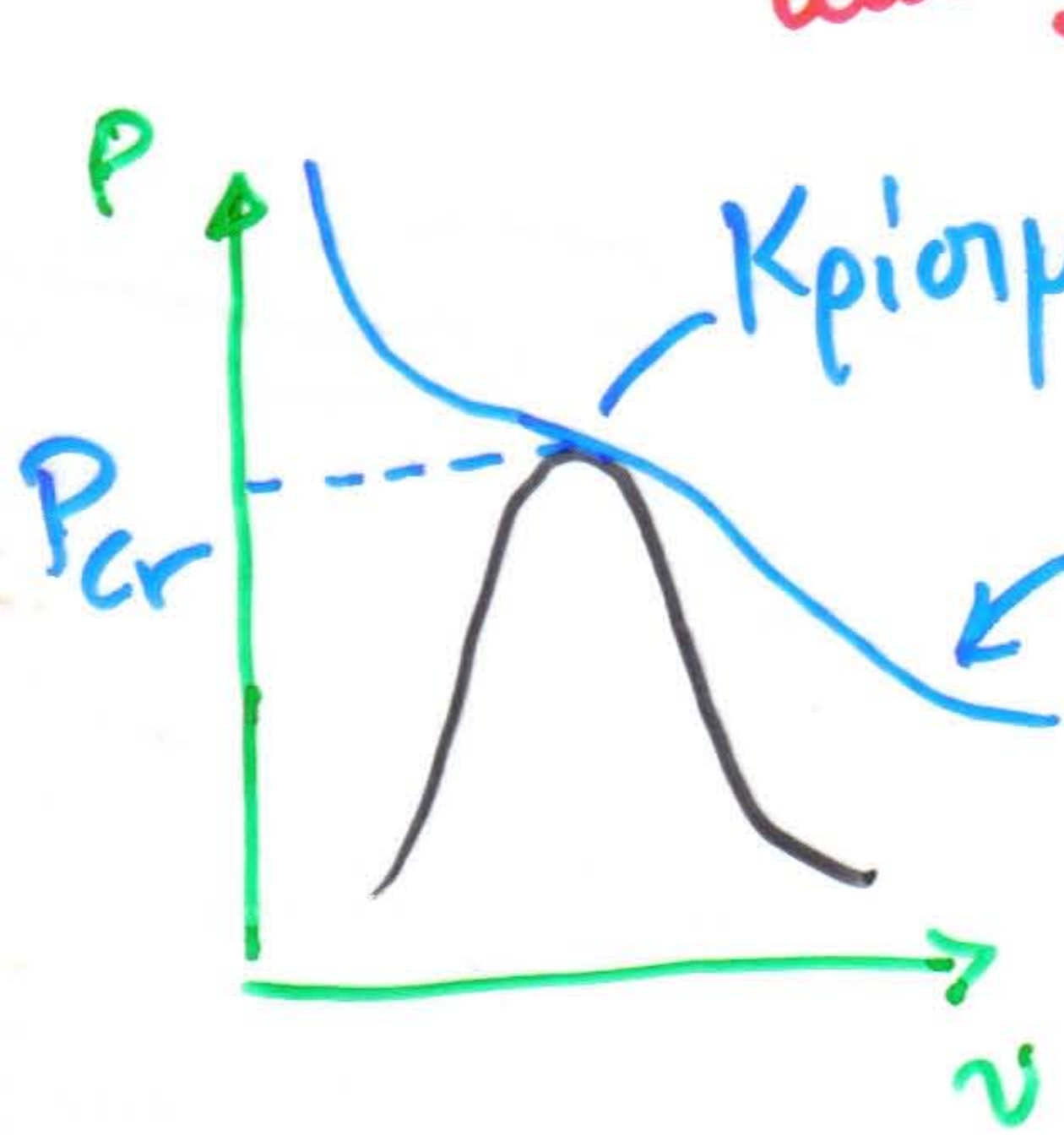
## Εξίσωση van der Waals

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right) \cdot (v - b) = RT$$

Βεζτιώνη κ.ε.

$\frac{a}{v^2}$  : όρος που παριστάνει τις ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων

$b$  : όρος που παριστάνει τον όγκο που καταλαμβάνουν τα ίδια τα μόρια



Κρίσιμο σημείο είναι σημείο καμπής

$T = T_{cr}$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_{T=T_{cr}} = 0$$

$$T = T_{cr} = \frac{8a}{27b}$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial v^2}\right)_{T=T_{cr}} = 0$$

$$T = T_{cr} = \frac{27a}{8b}$$

Βρίσκουμε

$$a = \frac{27 R^2 T_{cr}^2}{64 P_{cr}}$$

$$b = \frac{R T_{cr}}{8 P_{cr}}$$



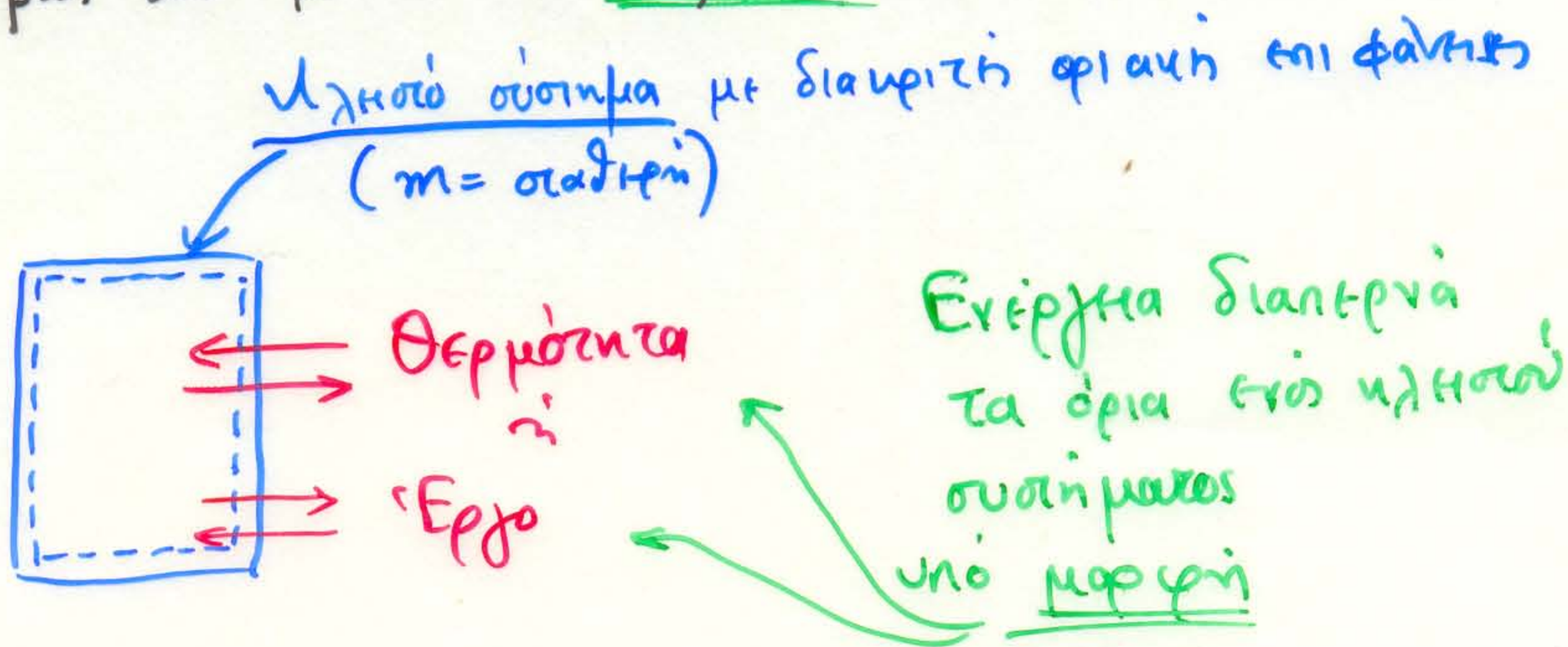
Εφαρμογή. Να αποδειχθούν οι σχέσεις.



# Κεφάλαιο 3

## Πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής (ή Αρχή διατήρησης ενέργειας)

Κατά τη διάρκεια μιας ενεργειακής αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του, το ποσό της Ενέργειας που λαμβάνει το σύστημα από το περιβάλλον του είναι ακριβώς ίσο με αυτό που αποβάλλει προς το περιβάλλον



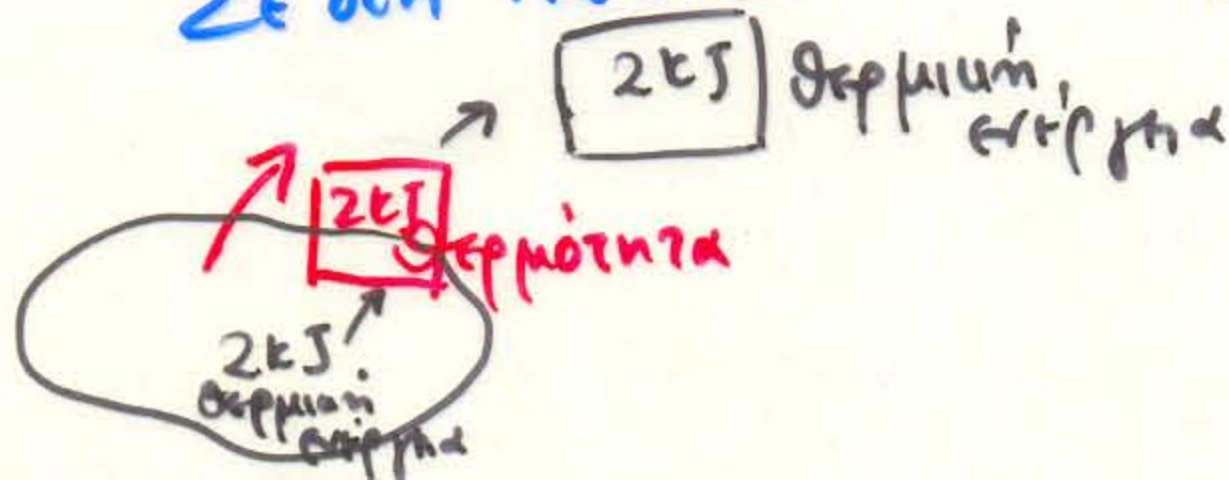
## ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Θερμότητα: Μορφή ενέργειας που μεταφέρεται (Σύστημα - σύστημα) (Σύστημα - Περιβάλλον) εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας

Προσοχή: Ένα σώμα δεν έχει θερμότητα. Έχει θερμικό περιεχόμενο ή θερμική ενέργεια

Μορφή ενέργειας σε κατάσταση μεταφοράς που γίνεται ακτινητή μόνο όταν διατηρηθεί τα όρια ενός συστήματος

Ζεστή πατάτα



Μονάδα: J, kJ

$$q = \frac{Q}{m} \left( \frac{kJ}{kg} \right)$$



# Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας

$$\dot{Q} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad \frac{dQ}{dt} \quad \left( \dot{\quad} \equiv \text{ποράση ως προς χρόνο} \right) \\ (\Delta t \rightarrow 0)$$

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} \cdot dt$$

Γενικά - Το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται καθ' όλη τη διάρκεια της διεργασίας

$$Q = \dot{Q} \cdot \Delta t$$

Ισχύει μόνο αν ο ρυθμός  $\dot{Q}$  = σταθερός

Αδιαβατική διεργασία: Κατά τη διάρκεια της  $\delta W$  μεταφέρεται θερμότητα

θερμομονωμένο σύστημα

ή  
Συστήματα ή συστήματα-περιβάλλον στην ίδια θερμοκρασία

Προσοχή: Σίχνη με λούθητη διαδικασία

Κατά την αδιαβατική διεργασία το ενεργειακό περιεχόμενο του συστήματος (δηλ. η θερμοκρασία) είναι δυνατό να μεταβάλλεται (π.χ. με αλληλεπίδραση έργου)

## Μηχανισμοί Μεταφοράς Θερμότητας

Αγωγή (Conduction)

Συναγωγή (Convection)

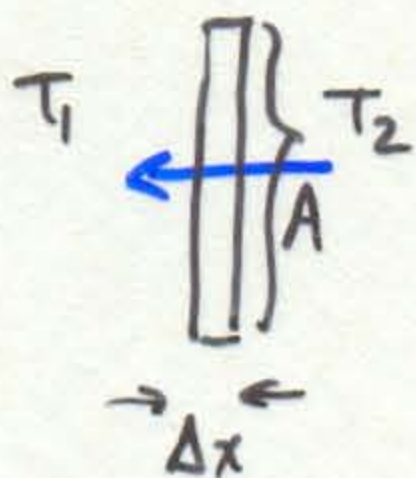
Ακτινοβολία (Radiation)

ΑΓΩΓΗ: Μεταφορά ενέργειας από τα σωματίδια μίας ουσίας με την περισσότερη ενέργεια προς τα μηχανικά τους έχον μικρότερη ενέργεια εξαιτίας των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων.

Αέρια - υγρά - στερεά



# Ρυθμός θερμικής αγωγίας, $\dot{Q}_{cond}$



$$T_1 < T_2$$

$$\dot{Q}_{cond} = k_t \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\Delta T = T_2 - T_1)$$

Αν  $\Delta x \rightarrow 0$  τότε

$$\dot{Q}_{cond} = -k_t A \frac{dT}{dx}$$

Νόμος του Fourier για την αγωγή θερμότητας

$\frac{dT}{dx}$ : θερμοκρασιακή βαθμίδα ή θερμοβαθμίδα

$\frac{dT}{dx} < 0$  επειδή η αγωγή γίνεται από  $T_2$  μεγαλύτερη  $\rightarrow T_1$  μικρότερη

$k_t$ : Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

$\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$  ← Πως προκύπτει;

$k_t$  Διαμάντι =  $2300 \frac{W}{m \cdot K}$

$k_t$  χαλκός =  $401 \frac{W}{m \cdot K}$

$k_t$  ύψος =  $0,17 \frac{W}{m \cdot K}$

$k_t$  πλαστικό =  $0,13 \frac{W}{m \cdot K}$

Υγρά + αέρια: Η αγωγή οφείλεται στις συχνοτάτες μεταξὺ των μορίων κατά την τυχαία κίνησή τους. (Μεταφορική, περιστροφή, ταλαντώσεις)

Στερεά: Η αγωγή οφείλεται

Ταλαντώσεις μορίων μέσα στο πλέγμα

(Αμέταλλα)

Ροή ελεύθερων ηλεκτρονίων

(Μέταλλα)

Πρόσθε υψηλή  $k_t$  για διαμάντι, Αυστηρά διατεταγμένο κρυσταλλικό στερεό



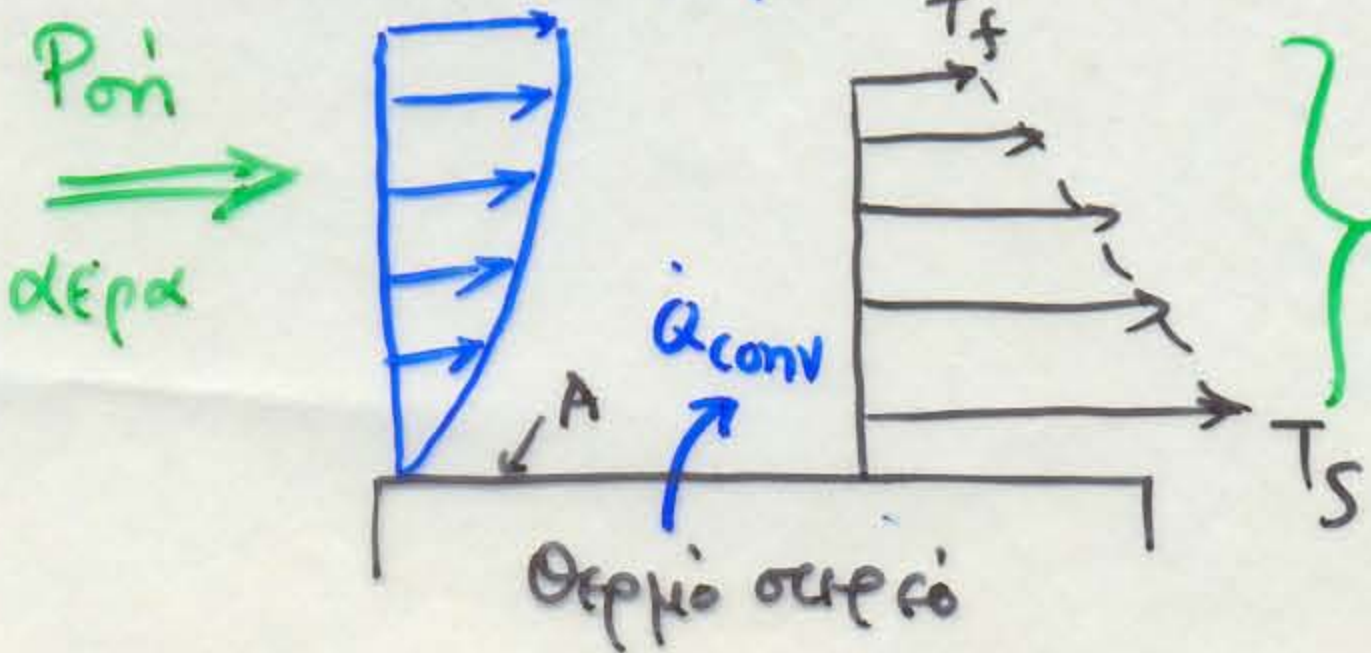
# Συναγωγή (convection)

Μεταφορά ενέργειας μεταξύ μιας στερεάς επιφάνειας και της γειτονικής υγρής ή αέριας φάσης, η οποία βρίσκεται σε κίνηση.

Συνδυασμός αγωγής + κίνησης ρευστού

↓  
Όσο γρηγορότερη τόσο μεγαλύτερη η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή

Ταχύτητα αέρα

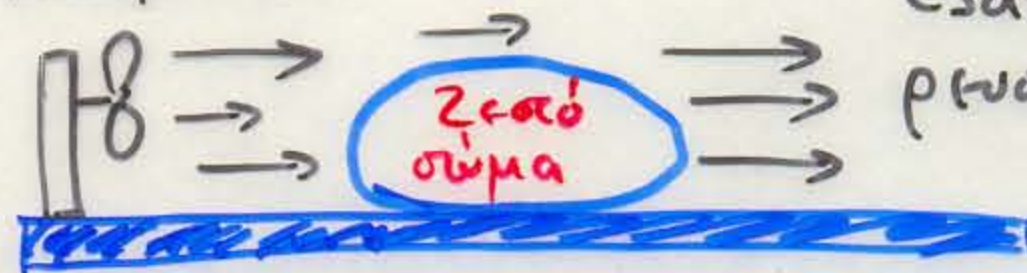


→ Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα

Ο κινούμενος αέρας απομακρύνει το θερμό αέρα από την επιφάνεια και τον αντικαθιστά με ψυχρότερο.

Εξαναγκασμένη συναγωγή

Ανεμιστήρας



Εξαναγκασμένη ροή ρευστού με εξωτερικά μέσα

Φυσική συναγωγή



Κίνηση αέρα λόγω ανυψωτικών δυνάμεων λόγω διαφορετικής πυκνότητας ρευστού

Θερμός αέρας επιφάνεια έχει μικρότερη  $\rho$ , ανεβαίνει, αντικαθίσταται από ψυχρότερο που κατεβαίνει

Συναγωγή με μεταβολή της φάσης του ρευστού

Ανύψωση φυσαλίδων ατμού κατά τη διάρρηξη του βρασμού

Πτώση υγρών σταγονιδίων κατά τη σχημάτωση







Θερμική ακτινοβολία : Ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα σώματα εξαιτίας της θερμοκρασίας τους (αρκεί  $T > 0\text{K}$  δηλ. όλα τα σώματα)

Όμοιο μετρίο φαινόμενο

Επιφανειακό φαινόμενο για τα αδιαφανή σώματα (Μέταλλα, ξύλο, πετρώματα)

Μέγιστος ρυθμός εκπέμπουσας ακτινοβολίας - Μέγαν σώμα

$$\dot{Q}_{\text{emit, max}} = \sigma \cdot A \cdot T_s^4$$

Νόμος Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

$T_s$  : απόλυτη θερμοκρασία επιφάνειας

$A$  : Εμβαδόν επιφάνειας

Από πραγματική επιφάνεια:

$$\dot{Q}_{\text{emit}} = \epsilon \sigma A T_s^4$$

$\epsilon$  : ικανότητα εκπομπής επιφάνειας

$$0 < \epsilon < 1$$

$\epsilon = 1$  για το μέγαν σώμα

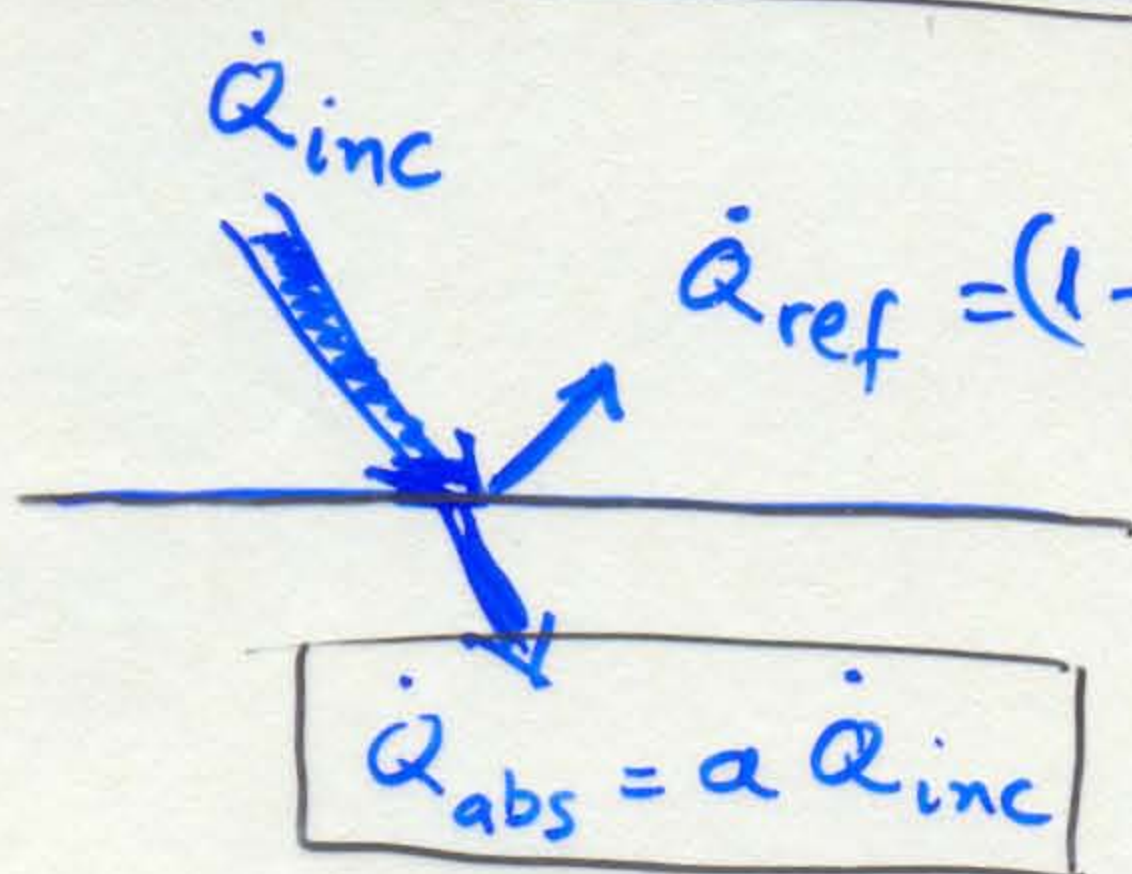
$\epsilon$  : εξαρτάται από  $T$  επιφάνειας και  $\lambda$  ακτινοβολίας

Υλικό	$\epsilon$ (300K)
Χαλκός	0,03
Ατσάλι	0,17
Δέρμα ανθρώπου	0,95



# Ικανότητα απορρόφησης (απορροφητικότητα)

$a$  μιας αυτινοβολίας



$$\dot{Q}_{inc} = \dot{Q}_{προσπίπτ.$$

$$\dot{Q}_{abs} = \dot{Q}_{απορρόφ.}$$

$$\dot{Q}_{ref} = \dot{Q}_{ανακλάσσης}$$

$a = 1$  για μέγαν σωμα

$$a = f(\lambda, T)$$

Νόμος Kirchhoff :  $\epsilon = a$  για ίδια  $\lambda$  και  $T$

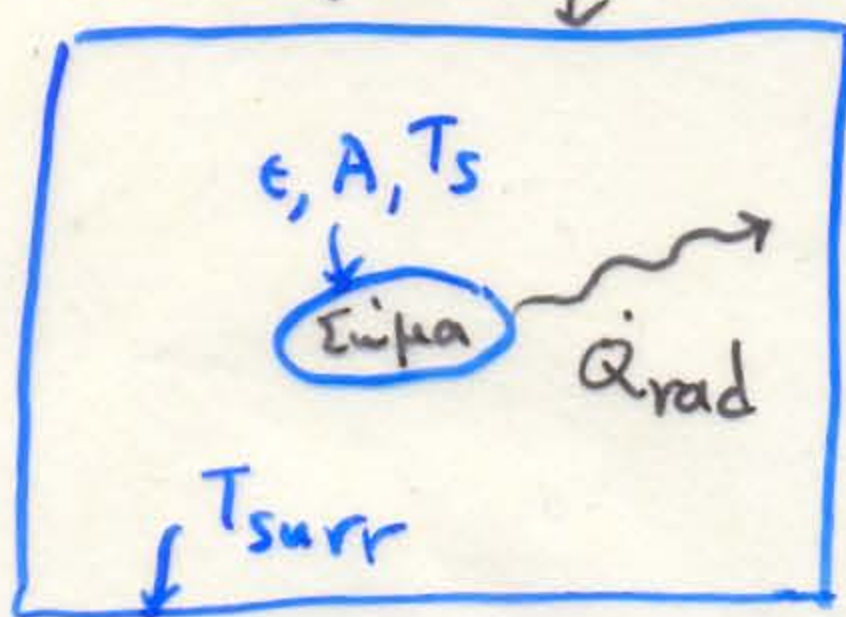
Καθαρός ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με αυτινοβολία

$$\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_{emit} - \dot{Q}_{abs}$$

Αν  $\dot{Q}_{emit} > \dot{Q}_{abs} \Rightarrow \dot{Q}_{net} > 0$  επιφάνεια χάνει ενέργεια με αυτινοβολία

Αν  $\dot{Q}_{emit} < \dot{Q}_{abs} \Rightarrow \dot{Q}_{net} < 0$  κερδίζει ενέργεια

Μεγάλο περιφραγτό



$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{surr}^4)$$

$$T_{surr} = T_{περιφραγτό}$$

Μικρό σώμα περιυγκόμενο από μια πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια



# ΕΡΓΟ ( $W$ ή $w = \frac{W}{m}$ )

(48)

Η ενέργεια που διασχίζει τα όρια ενός κλειστού συστήματος και δεν είναι θερμότητα, θα είναι έργο

Έργο: μεταφορά ενέργειας που σχετίζεται με μια δύναμη που ενεργεί για κάποια απόσταση



$Q = Q_{in} - Q_{out}$   
 $W = W_{out} - W_{in}$

ή καλύτερα  $Q_{in} > 0, Q_{out} > 0$

$W_{in} > 0, W_{out} > 0$

Αν με υποχρησάρι προκύψει π.χ.  $W_{in} < 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow W_{out} > 0$

Θερμότητα + Έργο δεν είναι ιδιότητες ενός συστήματος

Εξαρτώνται από την διαδρομή και συνδέονται με διεργασίες

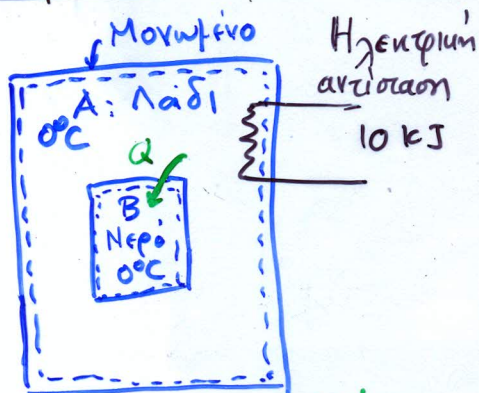
Φαινόμενα που εμφανίζονται στα όρια του συστήματος

Ένα σύστημα δεν μπορεί να έχει θερμότητα ή έργο.

Ηλεκτρικό έργο: Παράγεται από ηλ. ρεύμα (μικροί ηλεκτρόνια) έντασης  $I$  ( $V$ : τάση)

$W = V \cdot I \rightarrow W = \int_{t_1}^{t_2} V I \cdot dt$

Εφαρμογή: Αλληλεπιδράσεις θερμότητας και Έργου



Σύστημα A:  $W_{A,in} = +10 \text{ kJ}$  (ή  $W_A = -10 \text{ kJ}$ )

Έργο μεταφέρεται από τα κινούμενα ε- στο σύστημα

Αύξηση  $\downarrow$  Τηλεθωή που τελικά όλη γίνεται λάδι  $0^\circ\text{C}$

$Q_{A,out} = +10 \text{ kJ}$

ή  $Q_A = -10 \text{ kJ}$

Σύστημα B:

$Q_{B,in} = +10 \text{ kJ}$  ( $Q_B = +10 \text{ kJ}$ )  $W_B = 0$



## Συνδυασμένο σύστημα

(49)

$$Q_{ολ} = Q_{in} - Q_{out} = Q_{B,in} - Q_{A,out} = 10 \text{ kJ} - 10 \text{ kJ} = 0 \text{ kJ}$$

$$W_{ολ} = W_{out} - W_{in} = 0 - 10 \text{ kJ} = -10 \text{ kJ}$$

Βλέπουμε ότι  $Q_{ολ} = 0$ .

Η ροή θερμότητας από το λαδί στο παγωμένο νερό οδηγεί σε λιώσιμο μέρους του νερού. Εσωτερική διεργασία του συνδυασμένου συστήματος.

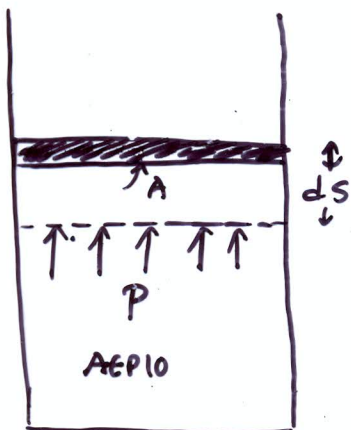
Αναστατοχτή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος.

## ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΡΓΟΥ

Δύο αναγκαίες συνθήκες για ύπαρξη έργου ανάμεσα σ' ένα σύστημα και στο περιβάλλον του

- Υπαρξη τουλάχιστον μιας δύναμης F που να ενεργεί πάνω στις οριζόντιες επιφάνειες
- Οριζόντιες επιφάνειες πρέπει να μετακινηθούν

Έργο Μετακίνησης Οριζόντιων Επιφανειών ή  
Έργο Ογκομεταβολής



Διεργασία ψευδοϊσορροπίας ή ψευδοστατική  
Σύστημα καθ' ύλην εκτονώνεται ή συμπιέζεται παραδίδοντας  
σχεδόν ισορροπία

Αντιστρεπτή διεργασία

Στοιχειώδης μετακίνηση εμβόλου κατά  $ds$

$$\delta W_b = f \cdot ds = P \cdot A \cdot ds = P \cdot dV$$

P: απόλυτη πίεση ( $> 0$ )  
 $dV > 0$  αν όγκος αυξάνεται  
 $dV < 0$  αν όγκος μειώνεται

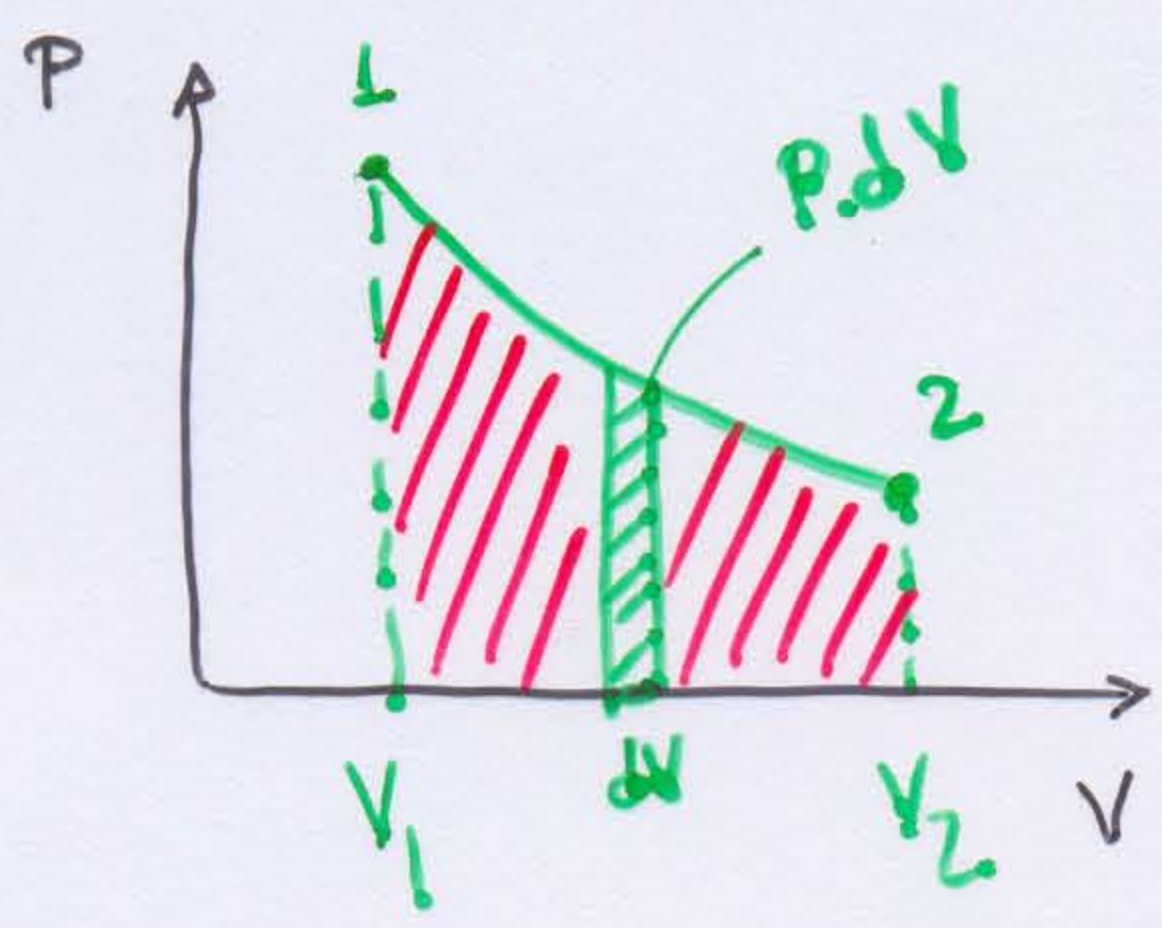
$P dV > 0$	εξτόνωση
$P dV < 0$	συμπίεση



# Ογκικό έργο ομομεταβολής (Μέγιστο δυνατό έργο)

$$W_b = \int_1^2 P \cdot dV$$

Η σχέση  $P=f(V)$  πρέπει να είναι διαθέρση



$W_b$  : ογκικό έμβραδόν κατω από καμπύλη  $P=f(V)$

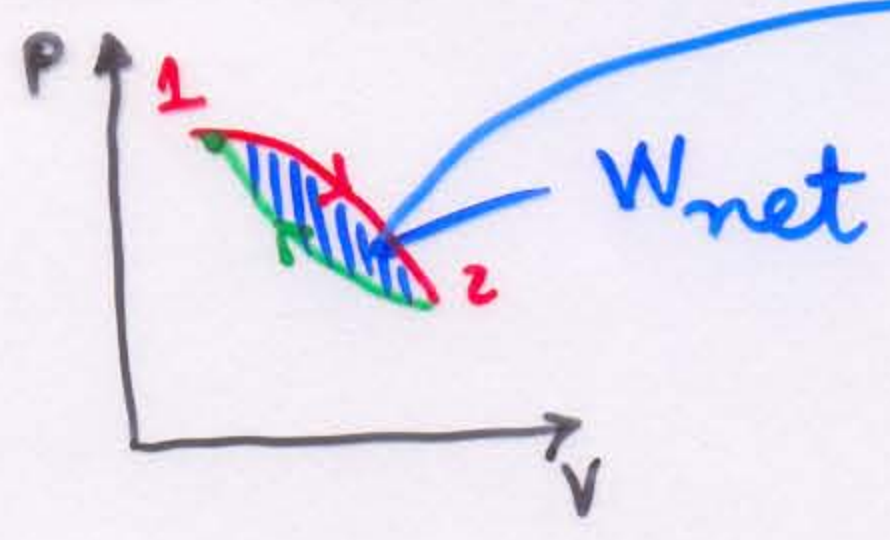
Πάντα σε ανεστρεφτή διεργασία  
επιτόνωσης ή σφλίξεως

Κάθε διαδρομή πραγματική διαφορετικό έμβραδόν  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  Έργο εξαρτάται από τη διαδρομή

Έτσι σε μία κυκλική διεργασία μπορούμε να έχουμε καθαρή παραγωγή

έργου.



## Υπολογισμός $W_b$ για διεργασίες μη ψευδοϊσορροπίας

Η πίεση  $P$  μέσα στον κύλινδρο δεν είναι παντού η ίδια σε κάποια χρονική στιγμή

Θέτουμε  $P_i$  : πίεση στην εσωτερική επιφάνεια του εμβόλου

$$W_b = \int_1^2 P_i \cdot dV$$

Η σχέση για  $W_b$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τα στερεά και για τα υγρά