

Όμοιος βρισκατε ότι

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) \cdot dT$$

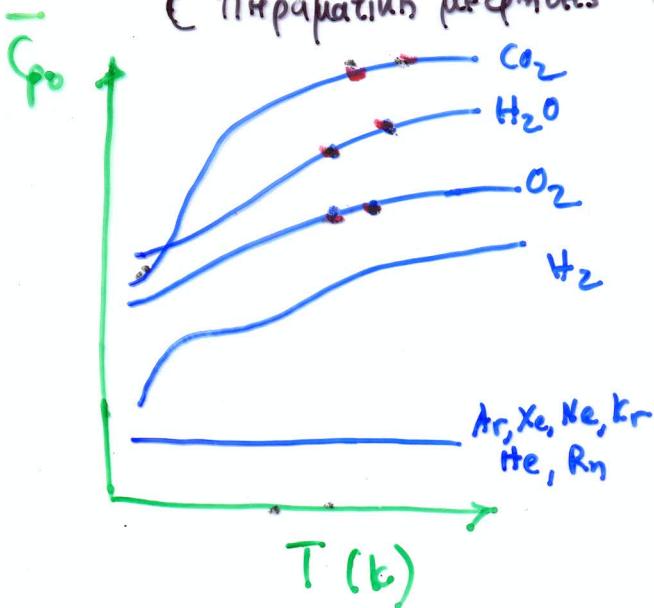
61)

Αν είναι γνωστές οι συναρτήσεις  $C_v(T)$  και  $C_p(T)$ , μπορούμε να υπολογίσουμε τα ολοκληρώματα και συνεπώς τις  $\Delta h$  και  $\Delta u$

Σε χαμηλές πιέσεις, τα πραγματικά αέρια προσεγγίζουν την ιδανική συμπεριφορά, οπότε και οι  $C_p, C_v$  εξαρτώνται μόνο από την  $T$ .

$C_{p0}, C_{v0}$ : Ειδική θερμότητα ιδανικών αερίων  
Ειδική θερμότητα μηδενικής πίεσης

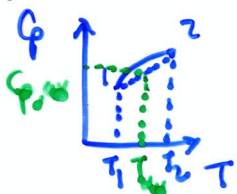
Οι ειδ. θερμ. των πραγματικών αερίων σε χαμηλή πίεση (Παραματική μετρήσεις ή στατιστικοί υπολογισμοί)



Παρατηρήσεις

- α) Αέρια με σύνθετα μόρια έχουν μεγάλα  $C_{p0}$  που αυξάνονται απότομα με την  $T$
- β)  $C_{p0} = aT + b$  (γραμμική συμπεριφορά) μόνο για μικρά θερμοκρασιακά διαστήματα ( $\Delta T$ )

Προσοχή: Ισχύουν κατά προσέγγιση μόνο σε μια μικρή περιοχή θερμοκρασιών



$$u_2 - u_1 = C_{v,av} (T_2 - T_1)$$

$$h_2 - h_1 = C_{p,av} (T_2 - T_1)$$

Ισχύουν για τα ευγενή μονατομικά αέρια όταν  $C_p = σταθερό$



Οι σχέσεις με  $C_p$ , αν και  $C_v$ , αν χρησιμοποιούνται συχνά αν ο υπολογισμός των  $\int C_p dT$  και  $\int C_v dT$  είναι δύσκολος. Επίσης γίνεται και χρήση πινάκων ( $u, h$  για διάφορα αέρια σε διάφορες θερμοκρασίες)

Ειδικά για τα ιδανικά αέρια:  $R = \frac{R_u}{M}$

$h = u + RT \Rightarrow \frac{dh}{dT} = \frac{du}{dT} + R \Rightarrow C_p = C_v + R$  (  $\frac{kJ}{kg \cdot K}$  )

Όταν δίνονται μοριακές ειδικές θερμότητες  $\bar{C}_p = \bar{C}_v + R_u$  (  $\frac{kJ}{kmol \cdot K}$  )

Λόγος των ειδικών θερμότητων  $\kappa = \frac{C_p}{C_v}$  Έχει μικρή μεταβολή από τη θερμοκρασία.

Τιμή  $\kappa$  πρακτικά σταθερή και ίση με  $\kappa = 1,667$  για μονατομικά αέρια

$u, h, C_p, C_v$  υγρών και στερεών

Ακουμπίωση ουσία : Σταθερός ειδικός όγκος ( $v = \frac{V}{m}$ ) (ή πυκνότητα)

Ισχύει πρακτικά για στερεές και υγρές ουσίες

Άρα έργο στο μεταβολής  $\rightarrow 0$  ή σχελικά αυτά των ειδών  $n$  ενέργεια σε σχέση με τις άλλες

( Τα παραπάνω δε ισχύουν όταν έχουμε θερμικές παραμορφώσεις )



Για ασυμπίεστες υλικά ισχύει ότι

$$C_p = C_v = C$$

Επίσης στις ασυμπίεστες υλικά (όπως και στα δακτυαία αέρια)

$$C = C(T)$$

$$\text{Άρα } du = C_v dT = C(T) dT \Rightarrow \int_1^2 du = \int_{T_1}^{T_2} C(T) dT \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta u = u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} C(T) dT$$

Για μικρές αλλαγές της θερμοκρασίας

$$\Delta u \approx C_{av} (T_2 - T_1)$$

Μεταβολή της ενέργειας

$$h = u + P \cdot v \Rightarrow dh = du + P \cdot dv + v \cdot dP \Rightarrow dh = du + v \cdot dP$$

Ολοκλήρωση

$$\Delta h = \Delta u + v \cdot \Delta P \approx C_{av} \cdot \Delta T + v \cdot \Delta P$$

Για τα αέρια ο όρος  $v \cdot \Delta P$  είναι αμελητέος οπότε

$$\Delta h = \Delta u = C_{av} \cdot \Delta T$$

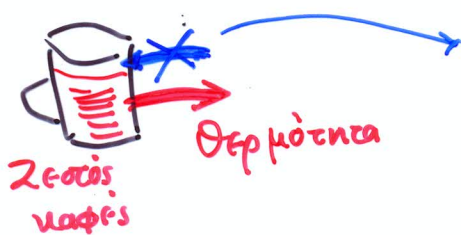
← Μόνο για τα αέρια



(6 στο νέο βιβλίο)  
Κεφάλαιο 5 - Β' Νόμος της Θερμodynamικής

Ο πρώτος νόμος της Θερμodynamικής δεν βάζει κανένα περιορισμό ως προς την κατεύθυνση μιας διεργασίας

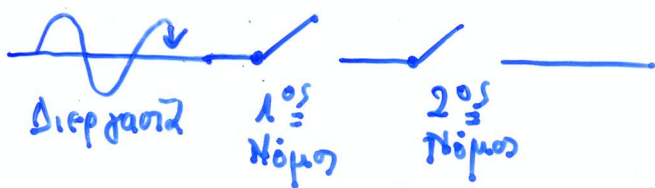
Εντούτοις γνωρίζουμε ότι υπάρχουν μονόδρομες διαδικασίες



Η αντιστροφή ροή θερμότητας δεν απαγορεύεται από τον 1ο Νόμο αλλά είναι γνωστό ότι δε μπορεί να πραγματοποιηθεί (Απαγορεύεται από τον Β' νόμο)

Επίσης ο β' νόμος χαρακτηρίζει την ενέργεια από αίσθη ποιότητας

Θα δούμε ότι μια ποσότητα ενέργειας σε υψηλή θερμοκρασία έχει τη δυνατότητα να παράγει περισσότερο έργο από την ίδια ποσότητα ενέργειας σε χαμηλότερη θερμοκρασία.



Δεξαμενές Θερμικής Ενέργειας ή Δεξαμενές

Υποθετικό σώμα που έχει σχετικά μεγάλη θερμοχωρητικότητα (μάζα x ειδική θερμότητα) έτσι ώστε: Απορρύνει ή απορρ. φ. πειρασμένα ποσά θερμότητας χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του.

π.χ. → Μεγάλης μάζας νερό ή αέρα

θαλάσσιες - λίμνες - ποτάμια - ατμόσφαιρα

→ Στοιχεία δύο φάσεων ή βιομηχανικό φούρνος



Όχι απαραίτητα μεγάλο μέγεθος για να λειτουργήσει ένα σώμα ως δεξαμενή.

Αρκετή η θερμοχωρητικότητα αρκεί τη βάση σε σχέση με ποσά ενέργειας που παρέχει ή απορροφά.

Π.χ. Αέρας ενός δωματίου - Ευλυόμετη θερμότητα από τη γη

Θερμοδοχείο



Θερμότητα

Δεξαμενή που παρέχει ενέργεια υπό μορφή θερμότητας.

Ψυχοδοχείο

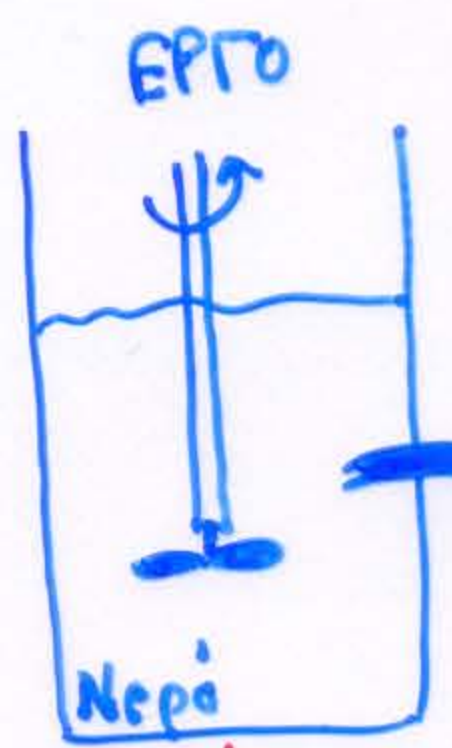


Θερμότητα

Δεξαμενή που απορροφά ενέργεια υπό μορφή θερμότητας.

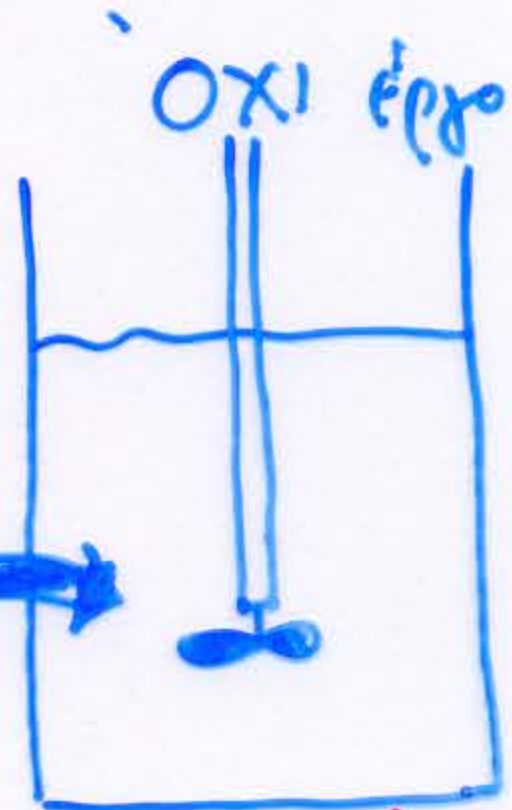
Ανοδέγημη απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον =>  
=> Θερμική μηχανή.

Θερμική μηχανή



Θερμότητα

Έργος



Θερμότητα

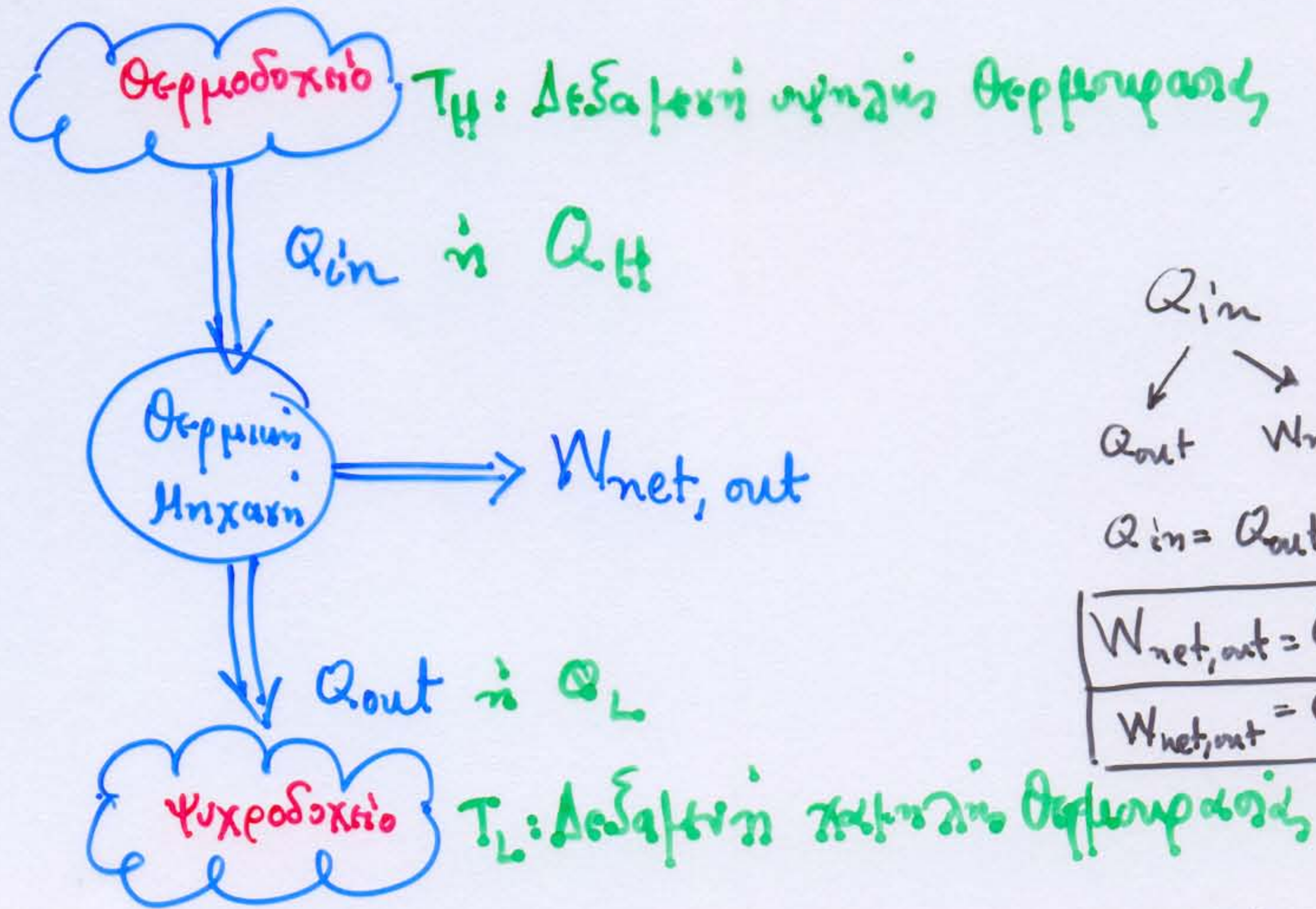
Το έργο W μπορεί να μετατραπεί αλκιδείας σε θερμότητα, Q

Το αντίστροφο (Q -> W) δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αλκιδείας.

Μπορεί όμως να γίνει με ειδικές διατάξεις που ονομάζονται Θερμική μηχανή (όχι όμως 100% κατά)

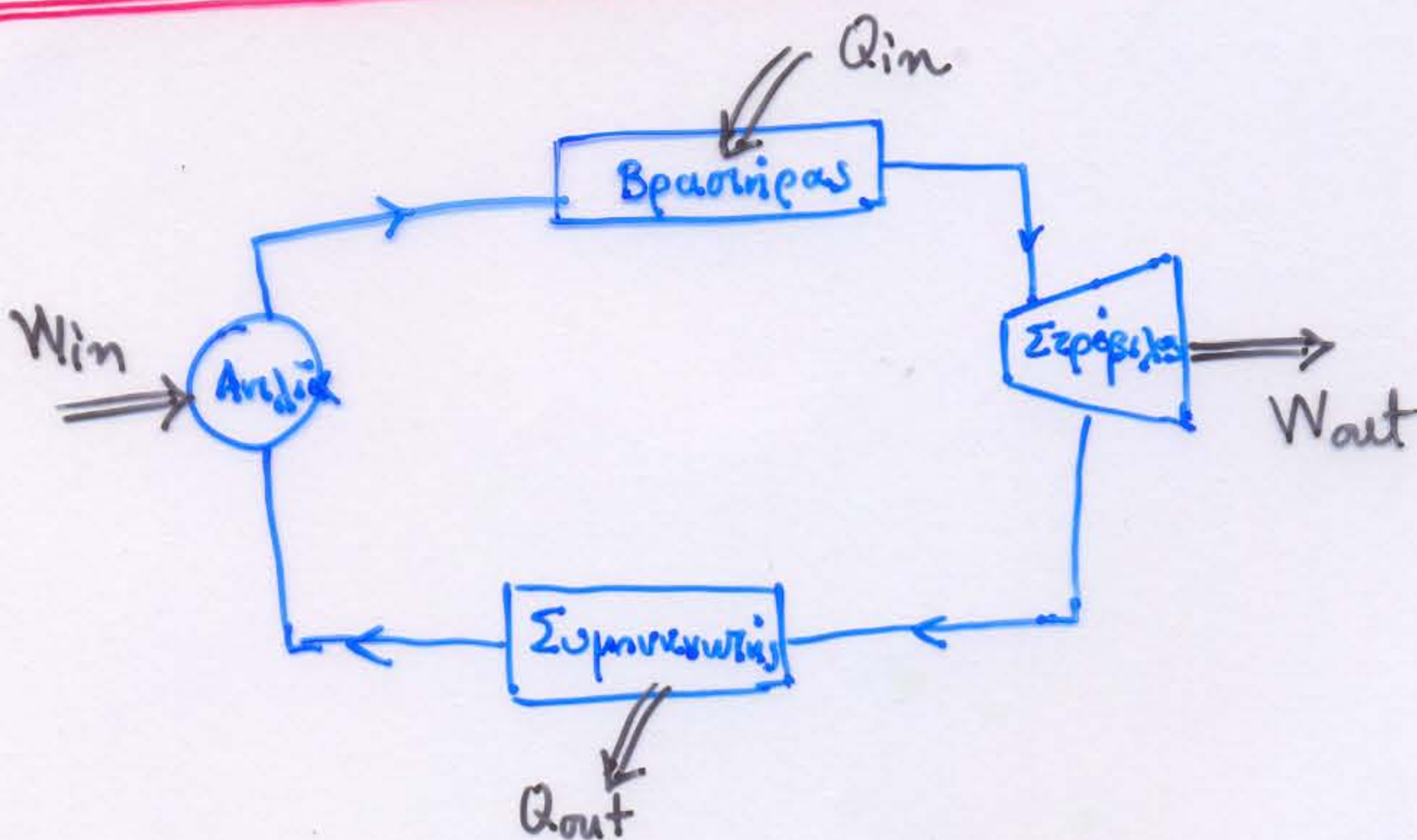


# Χαρακτηριστικά Θερμικών Μηχανών



1. Απορρόφηση θερμότητας  $Q_{in} (= Q_H)$  από πηγή υψηλής  $T$  ( $T_H$ )  
π.χ. ήλιος, καυσίμα καυσίμων, πυρηνικός αντιδραστήρας
2. Μετατροπή ενός μέρους της  $Q_{in}$  σε έργο ( $= W_{net, out}$ )
3. Αποβολή υπολοίπου θερμότητας  $Q_{out} (= Q_L)$  σε ψυχοδοχείο χαμηλής θερμοκρασίας (π.χ. ατμόσφαιρα, αέρα, θάλασσα)
4. Λειτουργία σε κύκλο. και με ένα ρευστό λειτουργίας

## Μονάδα παραγωγής ισχύος με υδρατμό





# Θερμική απόδοση

$$W_{net, out} = Q_{in} - Q_{out} = Q_H - Q_L$$

Το  $Q_{out}$  δεν είναι ποτέ μηδέν.

Αρα  $W_{net, out} < Q_{in}$  πάντα

Θερμική απόδοση,  $\eta_{th} = \frac{\text{Επιθυμητό Έξοδος}}{\text{Απαιτούμενη Είσοδος}} = \frac{W_{net, out}}{Q_{in}}$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net, out}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

Κλάσμα της  $Q_{in}$  που μετατρέπεται σε έργο.

Σε μία θερμική μηχανή:  $Q_{in} = Q_H$  : Θερμότητα μεταφερόμενη μεταξύ θερμοδοχείου ( $T_H$ ) και υψηλούς διάταξης

$$Q_{out} = Q_L :$$

Οπότε  $\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$

Είναι πάντοτε  $\eta_{th} < 1$

(Αφού  $Q_L < Q_H$ )

Συμπέρασμα : Μείωση κατά το δυνατό του  $Q_{out} (= Q_L)$  ώστε η μετατροπή της  $Q_{in} (= Q_H)$  σε καθαρό έργο ( $= W_{net, out}$ ) να είναι όσο πιο αποδοτική

Μικρότερη απώλεια καυσίμου - λιγότερη ρύπανση

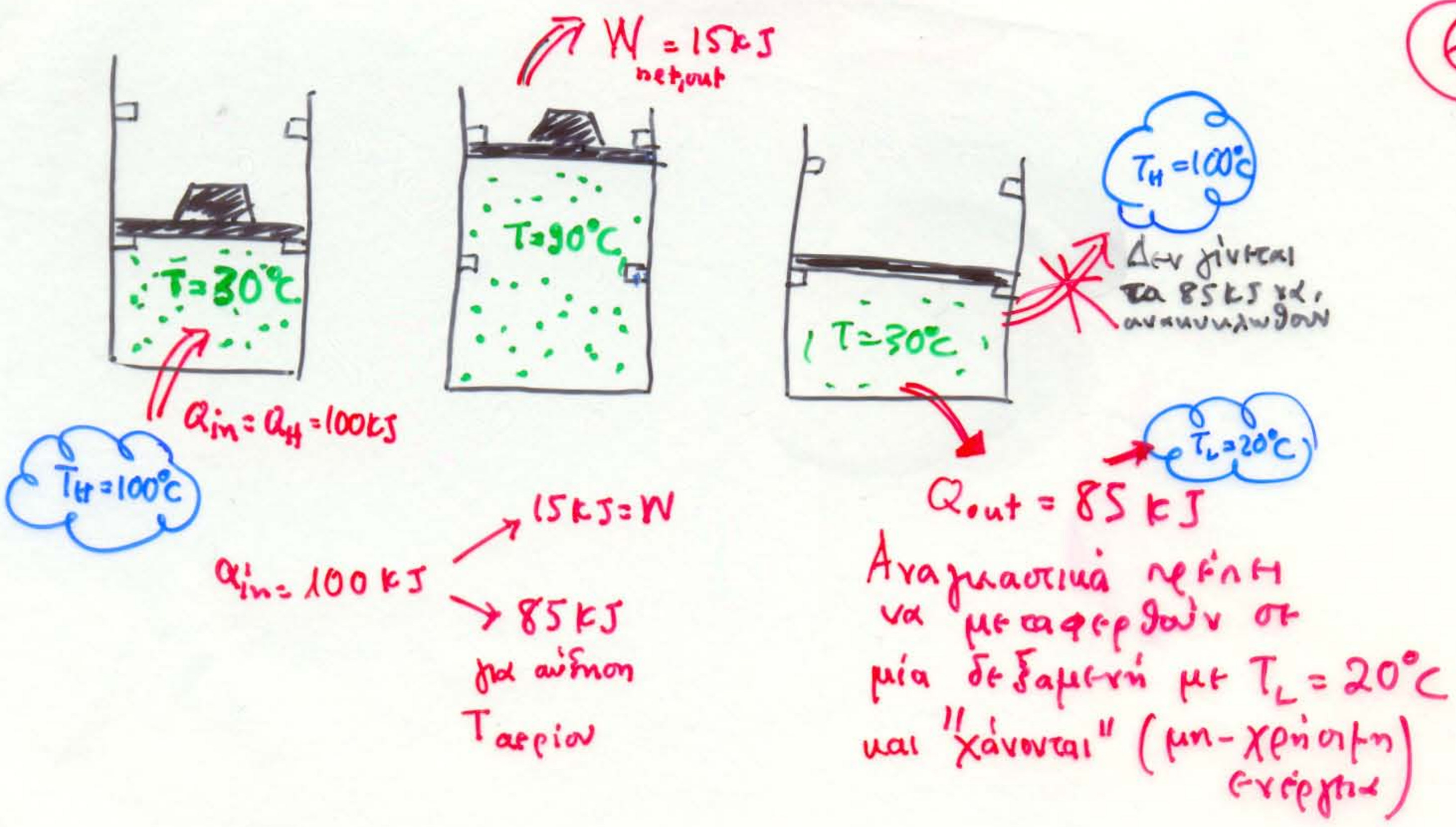
$\eta_{th} = 0,25$  (Βενζινοκινητήρας),  $0,35$  (Diesel),  $0,50$  (= Παραγωγή ισχύος με υδρατμό)

Μπορεί μία θερμική μηχανή να λειτουργήσει χωρίς  $Q_{out}$ ;

ΟΧΙ!

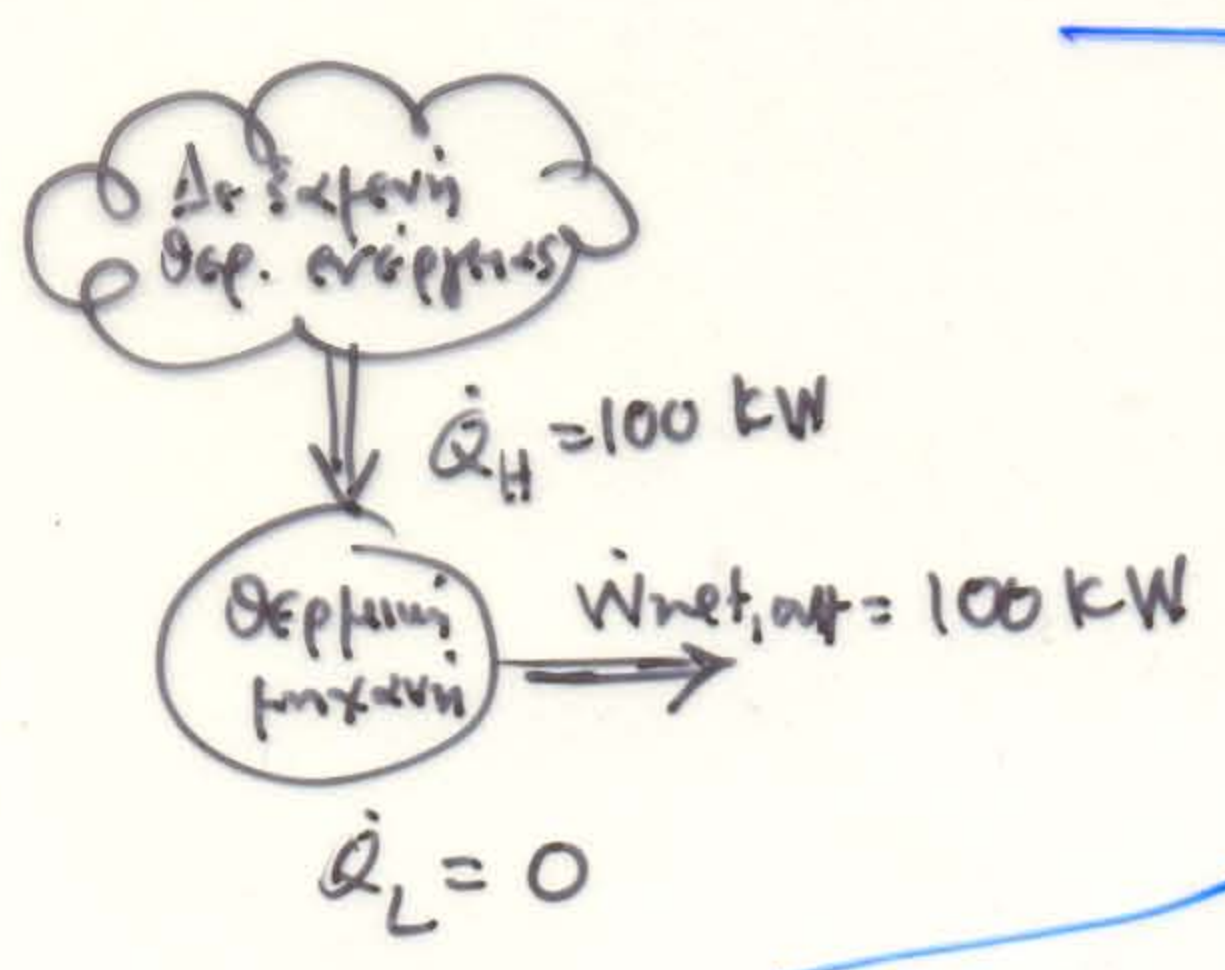
Μία θερμική μηχανή, προκειμένου να διαγράψει ένα σπύλινο κύκλο, πρέπει να αποταλίσσει ένα ποσό θερμότητας μεταφέροντάς το σε μία δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας - Απαιτείται 2 ταχίσια δέξα





## Διατύπωση των Kelvin και Planck για Β' νόμο θερμοδυναμικής

Μια διάταξη που λειτουργεί σε κύκλο είναι αδύνατο να παίρνει θερμότητα από μία μόνο δεξαμενή και να παράγει έργο



Αδύνατο μια <sup>θερμική</sup> μηχανή να έχει  $\eta_{th} = 100\%$ .  
 Το ρησίο λειτουργίας πρέπει να ανταλλάσσει θερμότητα με το πριβίλλον και μείνα φούρνο

Περιορισμός για όλες τις μηχανές (και ιδανικές και πραγματικές) — (όχι τριβή ή άλλη απώλεια)



# Συντελεστές απόδοσης της μετατροπής της ενέργειας

$$\text{Απόδοση καθοριφέρ (Θερμαντήρας νερού)} = \frac{\text{Ενέργεια που παρέχεται στο σπίτι από το ζεστό νερό}}{\text{Ενέργεια που παρέχεται στον θερμαντήρα}}$$

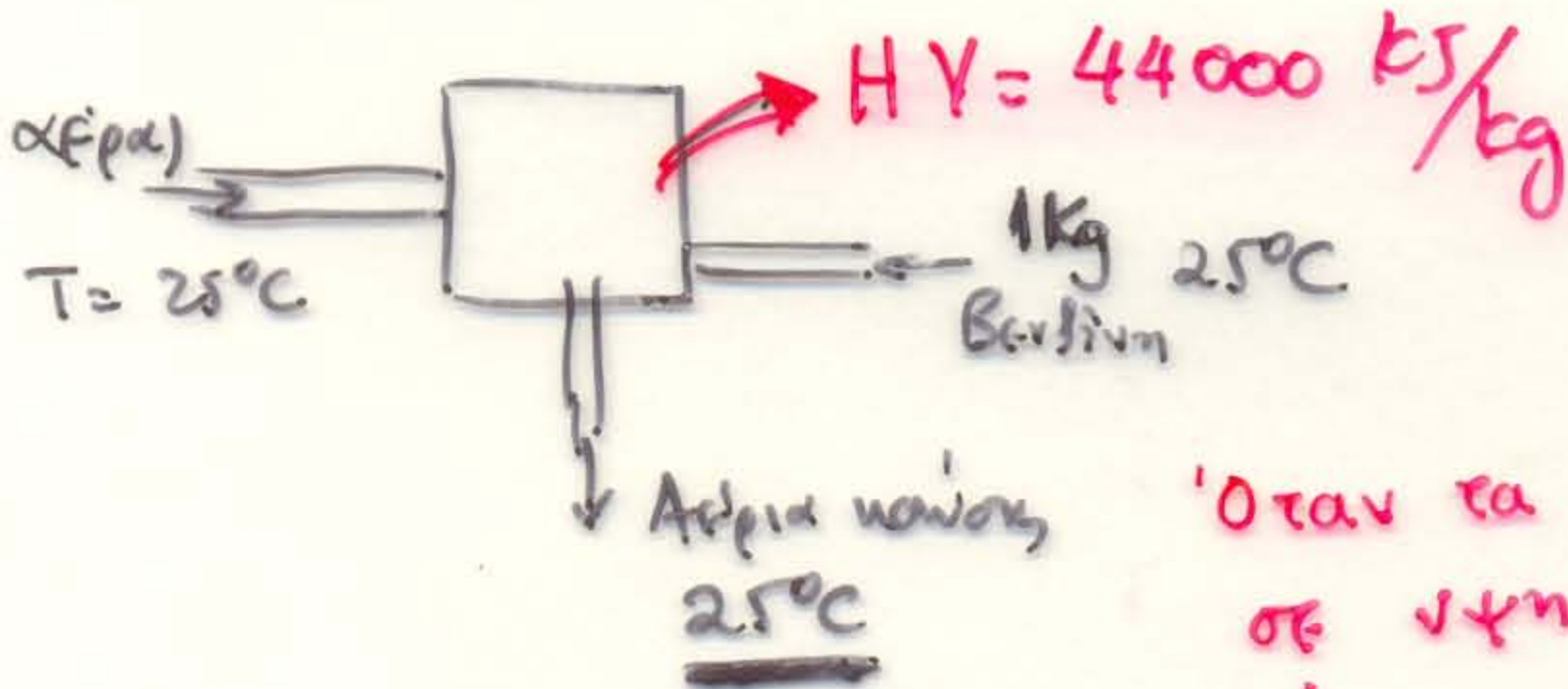
$\eta_{\text{ηλεκτρ}} = 0,95$        $\eta_{\text{φυσ. αερί}} = 0,50$

Όμως υότος θερμαντήρα φυσικά αερίων το μισό.  
Γιατί  $\eta_{\text{ηλεκτρ}} < \eta_{\text{φυσ. αερίων}}$ ;

$$\eta_{\text{καύσις}} = \frac{Q}{HV} = \frac{\text{Θερμότητα που απελευθερώνεται με καύση}}{\text{Θερμογόνος δύναμη καυσίμου}}$$

Heating Value

H.V. : Θερμότητα που απελευθερώνεται, όταν μια μονάδα μάζας καυσίμου (σε  $T_{\text{δωμάσιου}}$ ) και τα προϊόντα της καύσης εδέρχονται σε  $T_{\text{δωμάσιου}}$  θέρσης.



Όταν τα αέρια καύσης απομακρύνονται σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ.  $200^{\circ}\text{C}$ ) τότε η απόδοση πέφτει

(Δεν ανακάθεται ποτέ κάποιο μέρος από τη θερμότητα των αερίων καύσης)



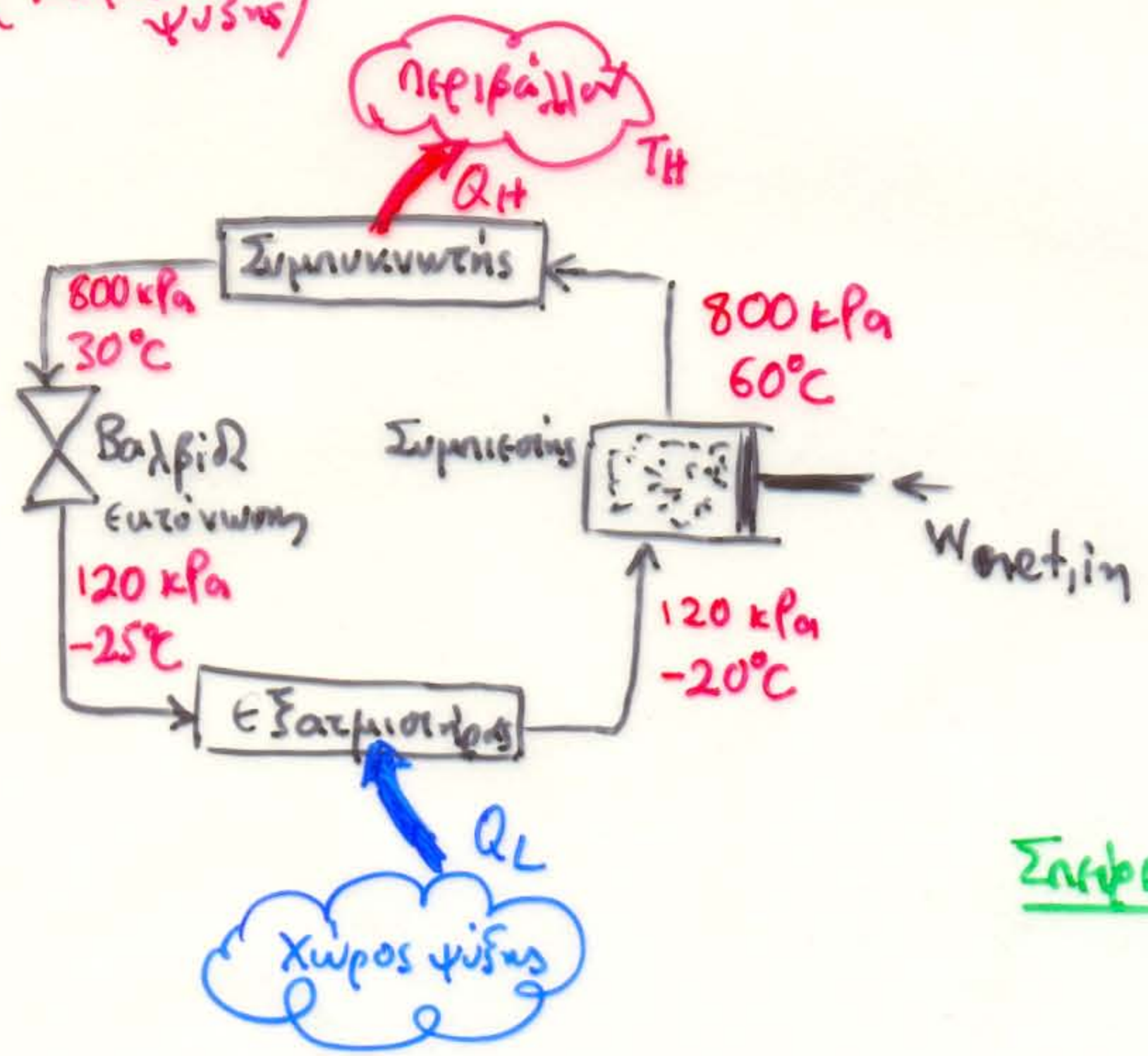
Απόδοση φωτισμού =  $\frac{\text{Ποσότητα παρεχόμενου φωτός (Lumen)}}{1 \text{ W ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται}}$

Κοινός λαμπτήρας πυραυτώσεως : 5-20 lumens/W (60W)  
 Συμβατικό λάμπα φθορισμού : 50-80 lumens/W (15W)

Απόδοση κοιλίδας =  $\frac{\text{Χρήσιμη ενέργεια προς το φαγητό}}{\text{Ενέργεια που καταναλώνει η συσκευή}}$

Ψυχία και αντλίες θερμότητας

Μεταφορά θερμότητας από ένα μέσο που βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία προς ένα άλλο που βρίσκεται σε υψηλότερη (χώρος ψύξης) (περιβάλλον)



Κύκλος αψήκτου αερίου

Ψυκτικό ρευστό  
λητούργει σε έναν χώρο ψύξης

Σταθός: Συμπυκνωτής