

## Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ο δεύτερος Θερμοδυναμικός νόμος (αξίωμα):

- εισάγει την έννοια της ποιότητας της ενέργειας (ενώ ο πρώτος την έννοια της ποσότητας),
- υποστηρίζει πως μία διεργασία στη φύση, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο προς μία κατεύθυνση.

Πρώτη ποιοτική διατύπωση *Clausius* :

**«Η θερμότητα δεν μπορεί από μόνη της να περάσει από ένα ψυχρό σώμα σε ένα θερμό. Δηλαδή, είναι αδύνατο να μεταφερθεί θερμότητα από ένα ψυχρό μέρος σε θερμό χωρίς την καταβολή έργου»**

Δεύτερη ποιοτική διατύπωση *Kelvin-Plank* :

**«Είναι αδύνατον να κατασκευαστεί θερμική μηχανή της οποίας μοναδική λειτουργία να είναι η απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή και η μετατροπή της σε έργο. Δηλαδή, είναι αδύνατον μια θερμική μηχανή να έχει απόδοση 100%».**

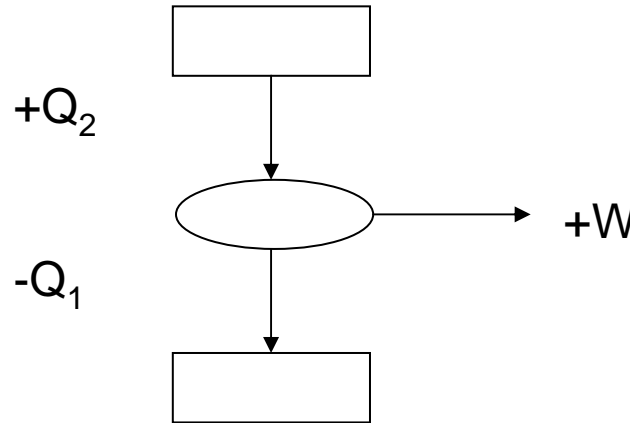
# Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

## Θερμικές Μηχανές

Δεξαμενή θερμότητας  $T_2$

Θερμική μηχανή:

Δεξαμενή θερμότητας  $T_1$   
( $T_2 > T_1$ )



$$\Delta U = Q_{12} - W_{12} \quad \Bigg| \quad \Rightarrow W_{\text{cycle}} = Q_{\text{cycle}} = Q_{\text{in}} + Q_{\text{out}} \Rightarrow W_{\text{cycle}} = Q_2 - Q_1$$

$$\text{Κυκλική μεταβολή} \Rightarrow \Delta U = 0$$

Συντελεστής θερμικής απόδοσης ή απλά θερμική απόδοση ( $\eta^{\text{th}}$ ):

$$\eta = \frac{W_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} \Rightarrow \eta = \frac{W_{\text{cycle}}}{Q_2}$$

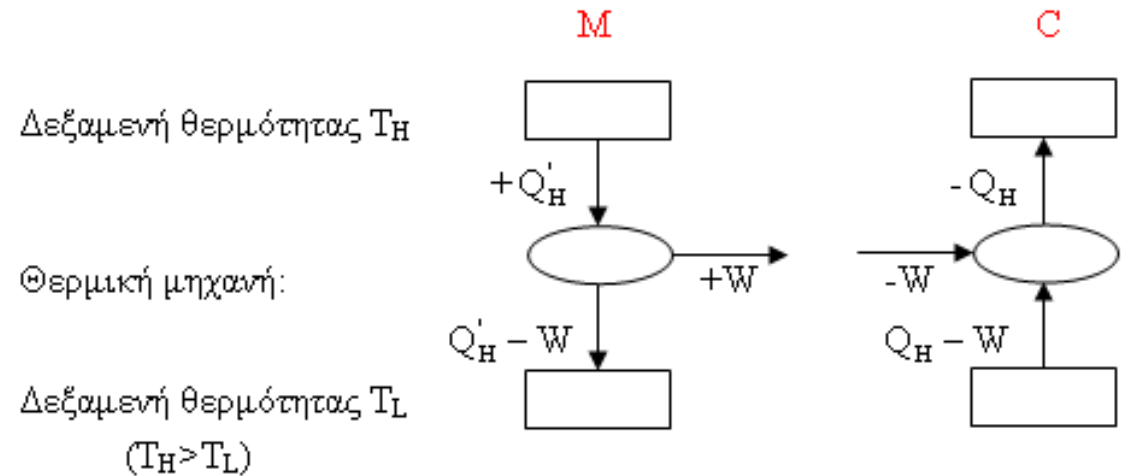
ή

$$\eta = \frac{W_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}} \Rightarrow \eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} < 1$$

## Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

### Πρώτο θεώρημα του Carnot:

«Για δύο δεδομένες δεξαμενές θερμότητας δεν υπάρχει καμία μηχανή με υψηλότερο συντελεστή θερμικής απόδοσης από τη μηχανή Carnot».



Η μηχανή  $M$  απορροφά θερμότητα  $Q'_H$  από το θερμοδοχείο, υποθέτουμε ότι παράγει το ίδιο έργο  $W$  και αποβάλλει θερμότητα  $Q'_H - W$  στο ψυχοδοχείο. Βάσει της υπόθεσης θα πρέπει

$$\eta_M > \eta_C \Rightarrow \frac{W}{Q'_H} > \frac{W}{Q_H} \Rightarrow Q_H > Q'_H$$

Για το συνδυασμό θερμικής μηχανής  $M$  και του ψυγείου *Carnot*, η ολική θερμότητα που απομακρύνεται από το ψυχοδοχείο, είναι  $Q_H - W - (Q'_H - W) = Q_H - Q'_H$

η ολική θερμότητα που μεταφέρεται στο θερμοδοχείο επίσης είναι  $Q_H - Q'_H$

Αδύνατο σύμφωνα με τη 2<sup>η</sup> διατύπωση του 2<sup>ου</sup> νόμου

## Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

### Δεύτερο θεώρημα του *Carnot*:

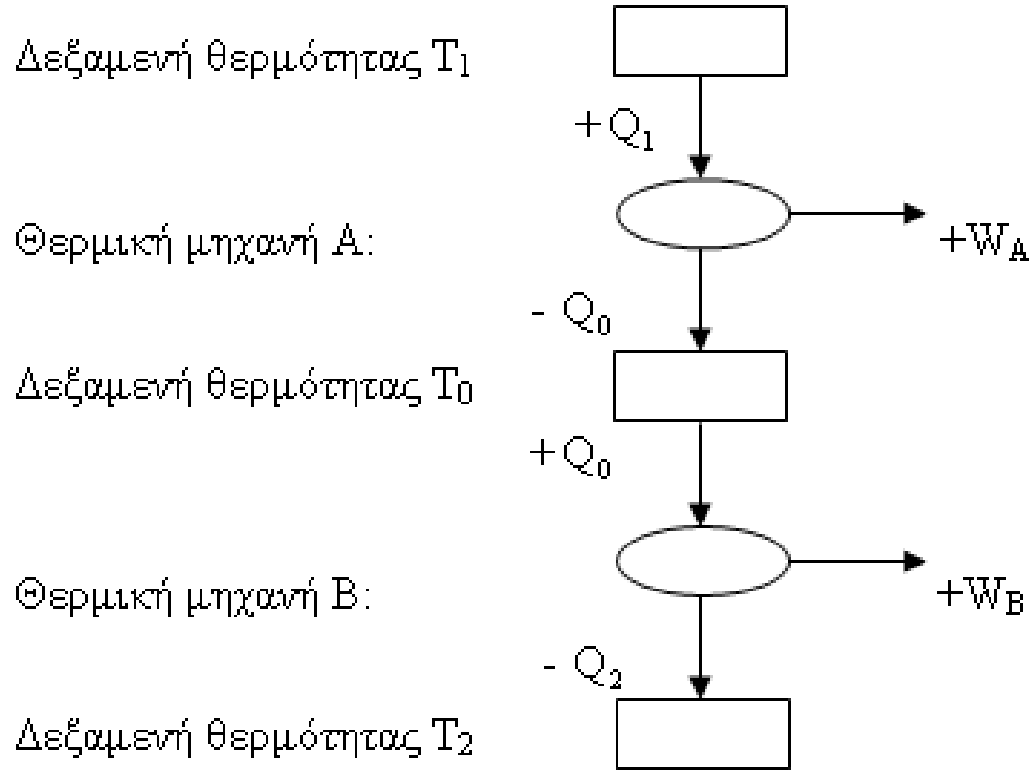
«Όλες οι μηχανές *Carnot* (που λειτουργούν με διαφορετικά αέρια) και ανάμεσα σε δεξαμενές θερμότητας που έχουν τις ίδιες δύο θερμοκρασίες, έχουν την ίδια θερμική απόδοση»

### Θερμική μηχανή *Carnot* :

- Η απόδοση δεν εξαρτάται από το είδος του αερίου
- Η απόδοση εξαρτάται τις θερμοκρασίες ανάμεσα στις οποίες λειτουργεί Αυτό ουσιαστικά σημαίνει σε ποια κλίμακα μετράμε τις δύο ισόθερμες.

## Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

### Θερμοδυναμική Κλίμακα Θερμοκρασίας



$$\frac{Q_1}{Q_2} = f(T_H, T_L) = f(T_1, T_2)$$

$$\text{Μηχανή A : } \frac{Q_1}{Q_0} = f(T_1, T_0)$$

$$\text{Μηχανή B : } \frac{Q_0}{Q_2} = f(T_0, T_2)$$

$$\text{Μηχανή C : } \frac{Q_1}{Q_2} = f(T_1, T_2)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Q_1}{Q_0} \cdot \frac{Q_0}{Q_2} \Rightarrow f(T_1, T_2) = f(T_1, T_0) \cdot f(T_0, T_2)$$

$$f(T_1, T_0) = \frac{g(T_1)}{g(T_0)} \quad \text{και} \quad f(T_0, T_2) = \frac{g(T_0)}{g(T_2)}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = f(T_1, T_2) = \frac{g(T_1)}{g(T_2)} \quad \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{g(T_H)}{g(T_L)}$$

## Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

### Θερμοδυναμική Κλίμακα Θερμοκρασίας

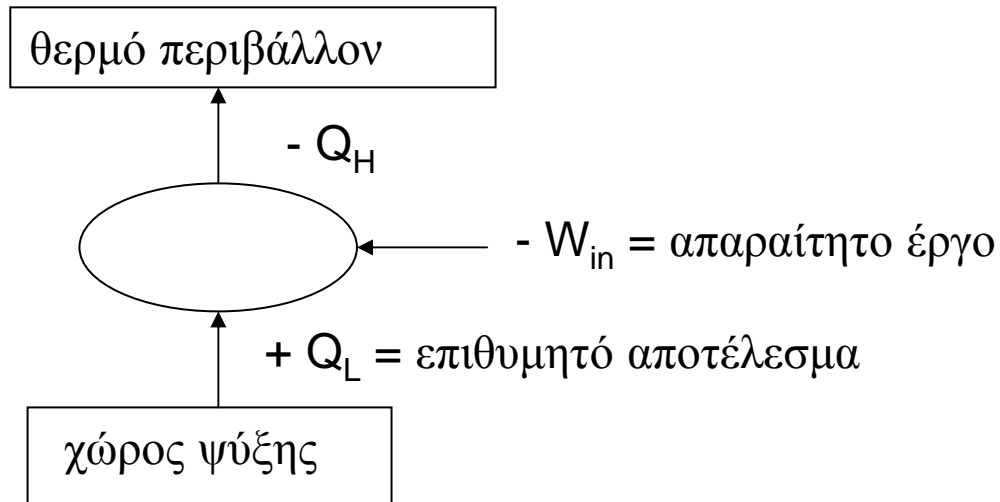
Αυτή η κλίμακα λοιπόν ονομάστηκε **θερμοδυναμική κλίμακα *Kelvin*** και οι θερμοκρασίες στην κλίμακα αυτήν **απόλυτες**.

$$\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = \eta_{\text{Carnot}} = \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \left( \frac{Q_L}{Q_H} \right)_{\text{rev}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Στην κλίμακα *Kelvin* οι λόγοι των θερμοκρασιών εξαρτώνται από τους λόγους των θερμοτήτων που ανταλλάσσονται μεταξύ της θερμικής μηχανής και των δεξαμενών θερμότητας και προφανώς είναι ανεξάρτητοι των φυσικών ιδιοτήτων οποιασδήποτε ουσίας.

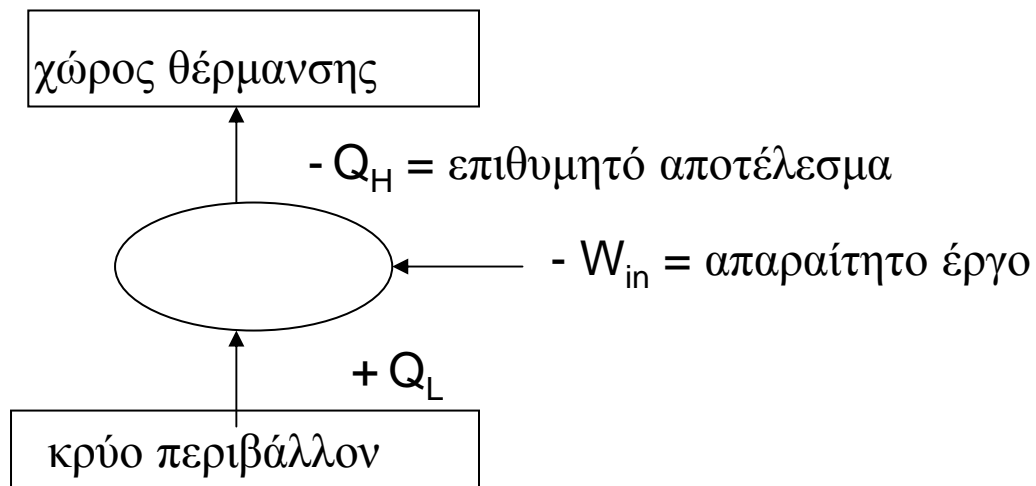
## Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

### Ψυκτικά συστήματα (*refrigeration systems*)



$$\text{COP}_{re} = \frac{|Q_L|}{|W_{in}|}$$

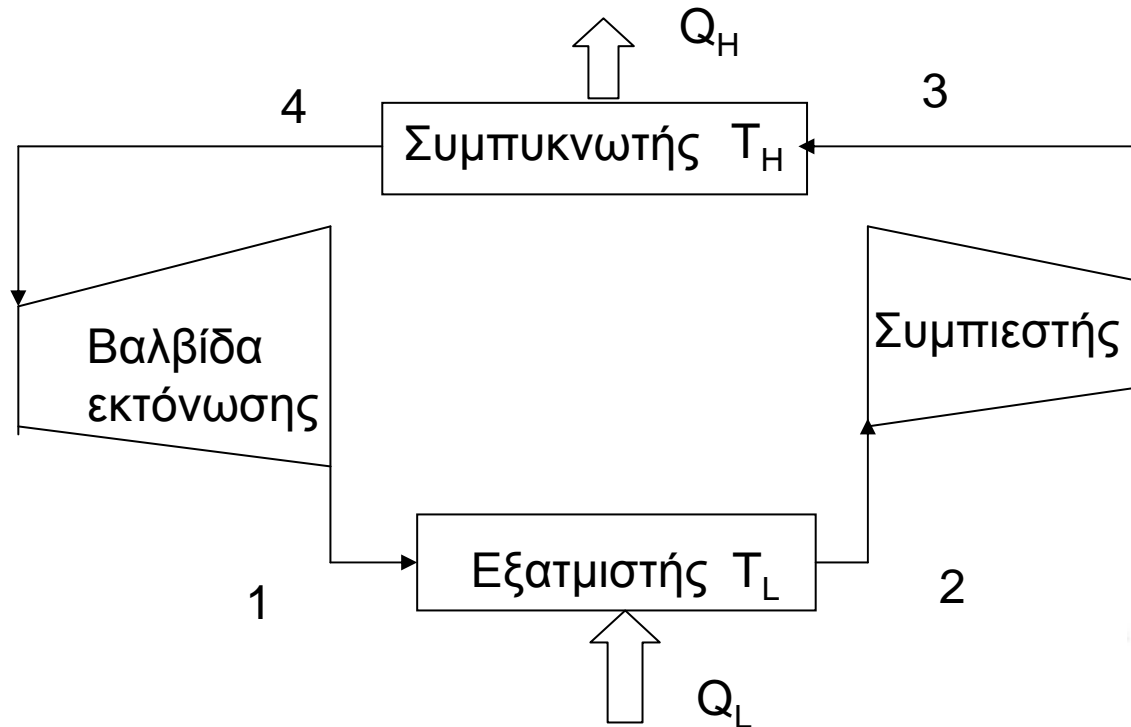
### Αντλίες θερμότητας (*heat pumps*)



$$\text{COP}_{hp} = \frac{|Q_H|}{|W_{in}|}$$

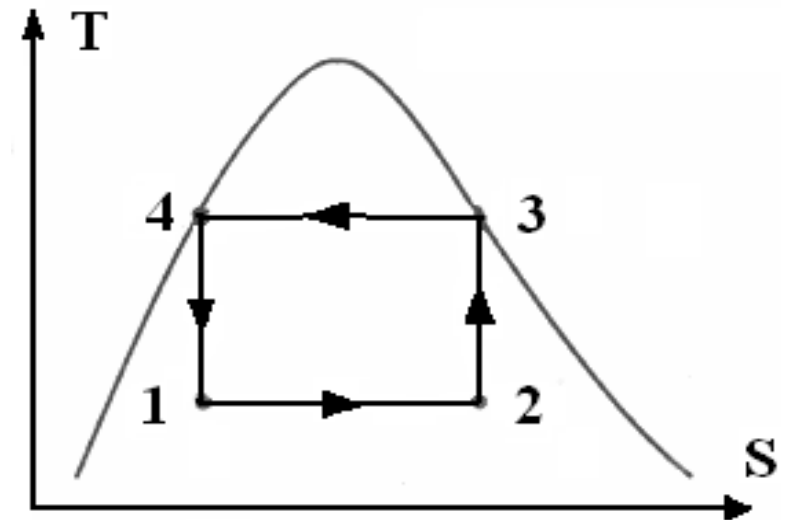
# Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

## Αντίστροφος κύκλος Carnot



$$\text{COP}_{\text{re,Carnot}} = \frac{|Q_L|}{|W_{\text{in}}|} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

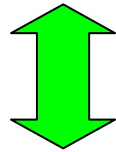
$$\text{COP}_{\text{hp,Carnot}} = \frac{|Q_H|}{|W_{\text{in}}|} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$



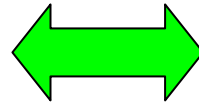


## Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

Αντιστρεπτή διεργασία ή μεταβολή



«Οιωνεί στατική» διεργασία



Ψευδοισοροπία

Μη αντιστρεπτή διεργασία

## Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

### Αντιστρεπτή διεργασία ή μεταβολή

Ορισμός 1: **Αντιστρεπτή διεργασία ή μεταβολή** ονομάζεται η διεργασία εκείνη, η οποία μπορεί να λάβει χώρα και κατά την αντίθετη κατεύθυνση χωρίς να αφήσει «κανένα ίχνος» στο περιβάλλον.

Ορισμός 2: **Αντιστρεπτή διεργασία ή μεταβολή** ονομάζεται η διεργασία είναι εκείνη μετά το τέλος της οποίας το σύστημα μπορεί επανέλθει στην αρχική του κατάσταση με ακριβώς τις αντίστροφες διαδικασίες

- **χρόνος** πραγματοποίησης του φαινομένου
- να μην υπάρχουν **φαινόμενα υστέρησης**