

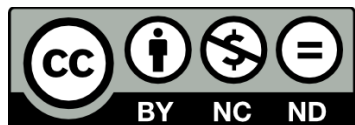


# Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική

## Ενότητα 6: Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής

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.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

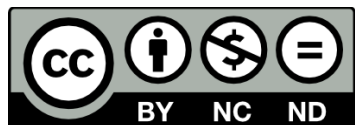
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ





# Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής



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. Κατεύθυνση μιας διαδικασίας
2. Ποιότητα της ενέργειας
3. Θερμική μηχανή
4. Κύκλο Carnot

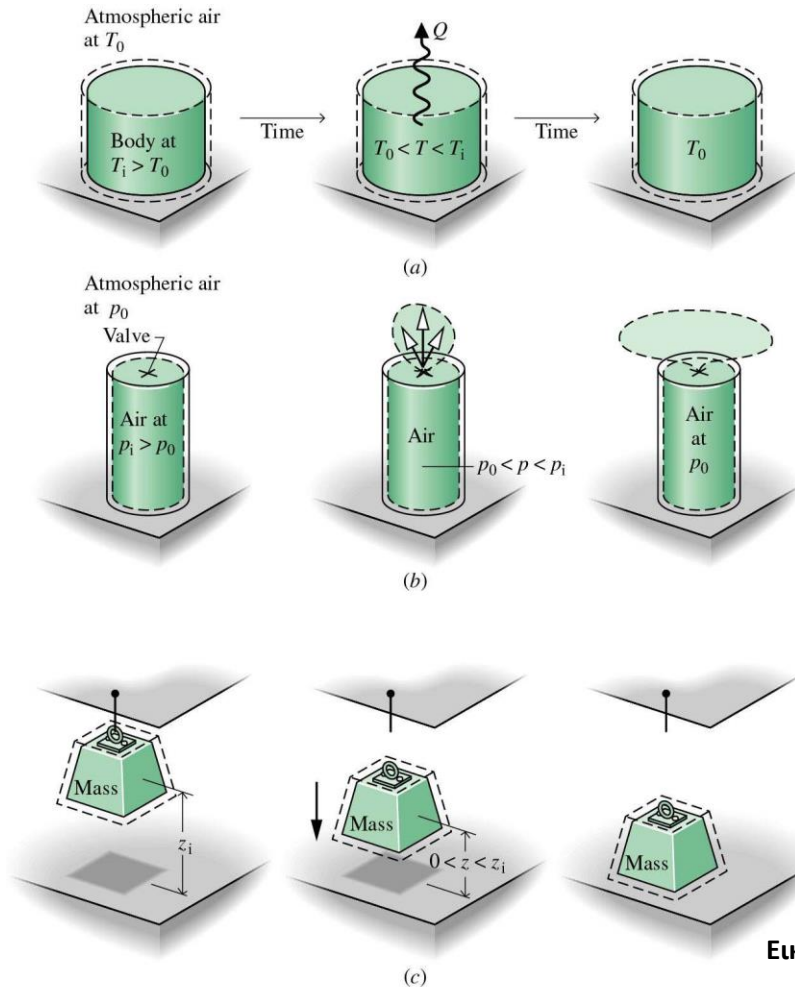


# Αναγκαιότητα 2ου Νόμου

- *Ο πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής:*
  - Διατυπώνει την αρχή διατήρησης της ενέργειας όταν αυτή μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη.
  - Λαμβάνει υπ' όψη μόνο τις αλλαγές στην ποσότητα της ενέργειας στις μετατροπές αυτές.
- *Ο δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής:*
  - Εισάγει την κατεύθυνση/ δυνατότητα μιας διαδικασίας.
  - Παρέχει τα μέσα για τη μέτρηση της ποιότητας της ενέργειας.
  - Καθορίζει τα θεωρητικά όρια απόδοσης των συσκευών.



# 2ος Νόμος: Κατεύθυνση (1/4)



(α) Αυτόματη μεταφορά θερμότητας

(β) Αυτόματη εκτόνωση

(γ) Πτώση

Είναι δυνατόν η αντίστροφη διαδικασία να λάβει χώρα αυτόματα χωρίς αλλαγές στο περιβάλλον;

Εικόνα 1: Αυτόματες διαδικασίες: (α) Αυτόματη μεταφορά θερμότητας (β) Αυτόματη εκτόνωση (γ) Πτώση



# 2ος Νόμος: Κατεύθυνση (2/4)

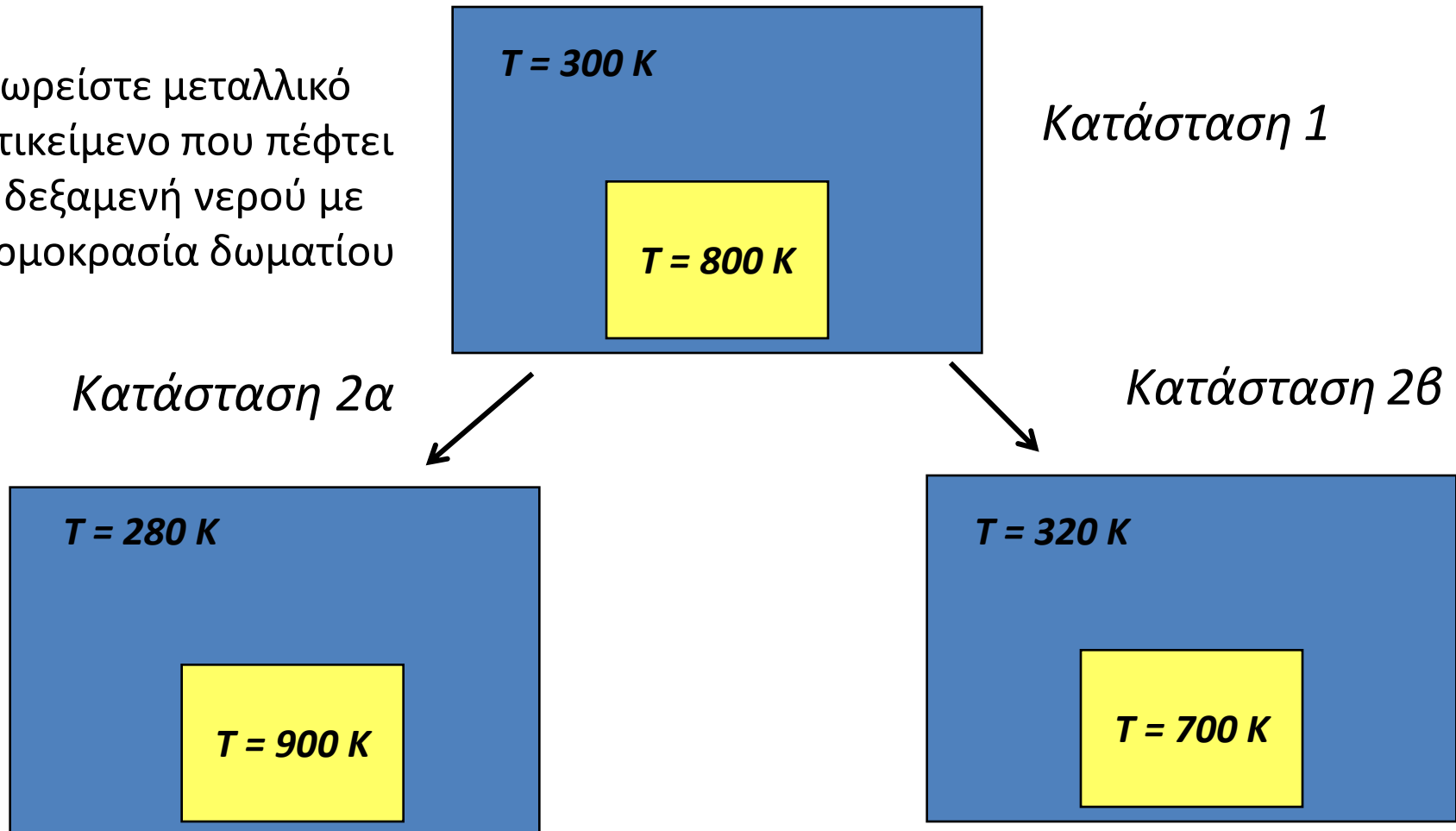
- Άλλα παραδείγματα:
  - ψύξη φλιτζανιού καφέ.
  - μετατροπή θερμότητας σε έργο.
  - μετατροπή θερμότητας σε ηλεκτρισμό.





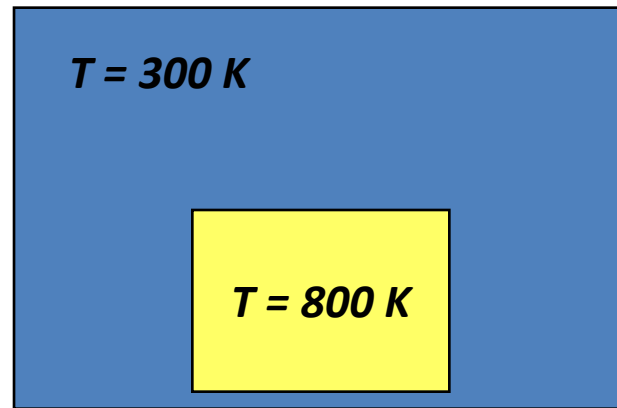
# 2ος Νόμος: Κατεύθυνση (3/4)

Θεωρείστε μεταλλικό αντικείμενο που πέφτει σε δεξαμενή νερού με θερμοκρασία δωματίου

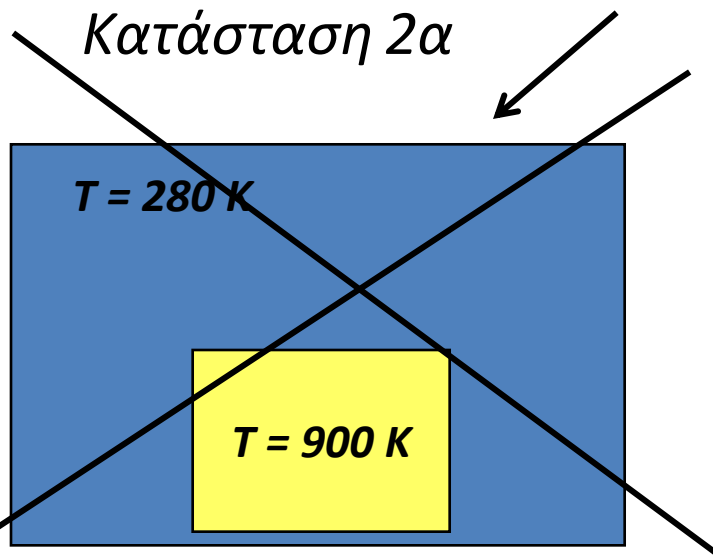


# 2ος Νόμος: Κατεύθυνση (4/4)

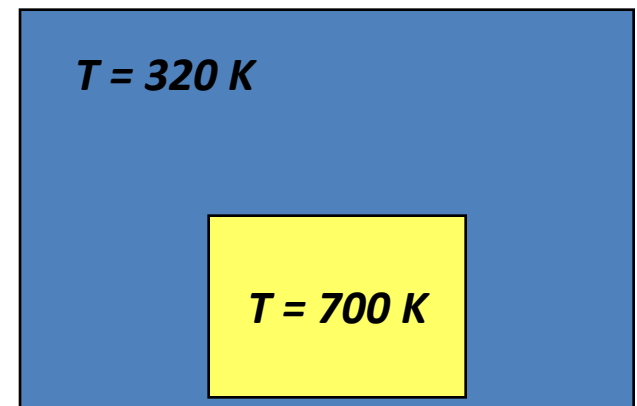
- Αμφότερες οι καταστάσεις 2α και 2β επιτρέπονται από το 1ο Νόμο.
- Ο 2ος Νόμος απαγορεύει τη 2α ως αδύνατη λόγω της απαιτούμενης αύξησης της εντροπίας



Κατάσταση 1



Κατάσταση 2α

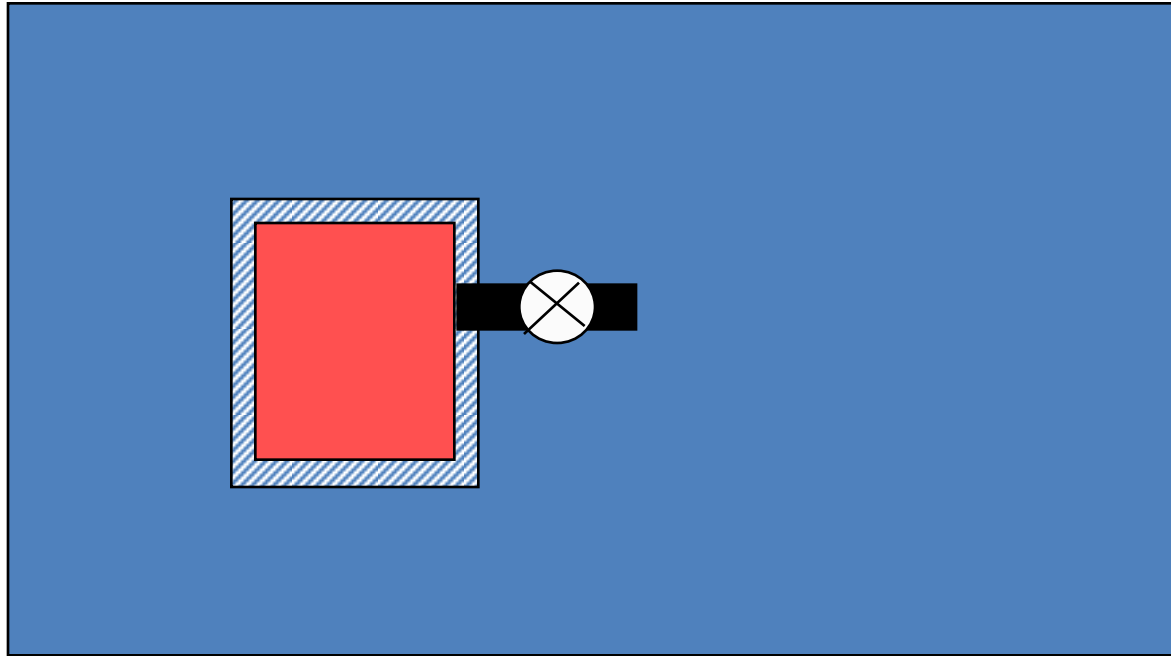


Κατάσταση 2β



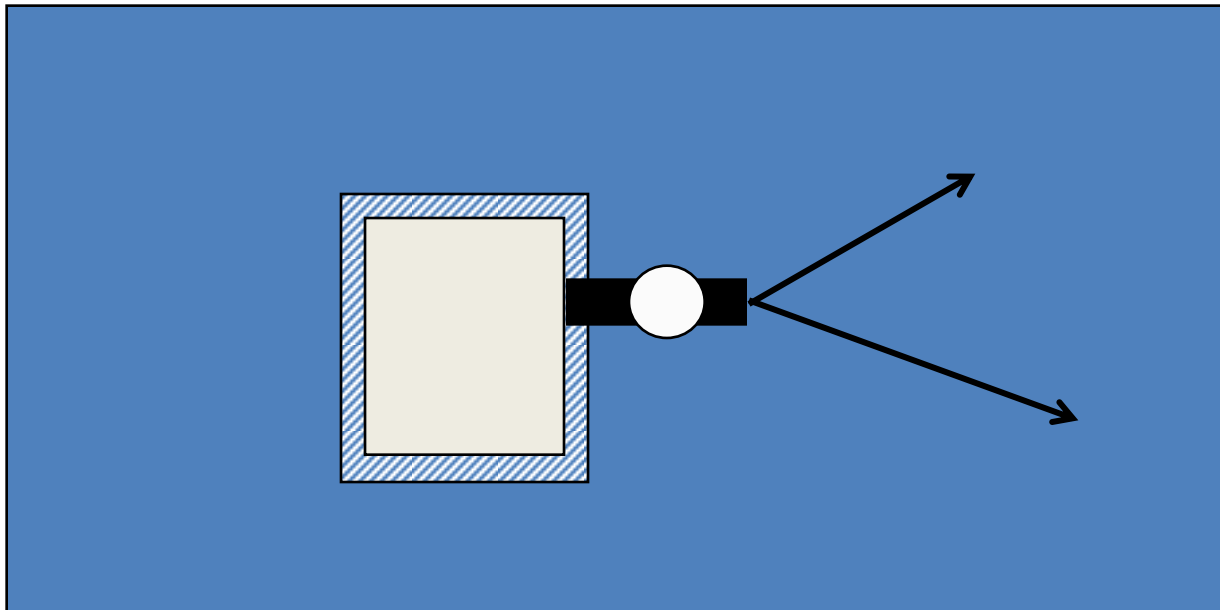
# 2ος Νόμος: Ποιότητα της ενέργειας (1/4)

- Θεωρείστε σταθερό δοχείο που περιέχει αέρα υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας και το οποίο βρίσκεται σε μεγάλο αεροστεγή χώρο. Το δοχείο έχει μια βαλβίδα που αρχικά είναι κλειστή.



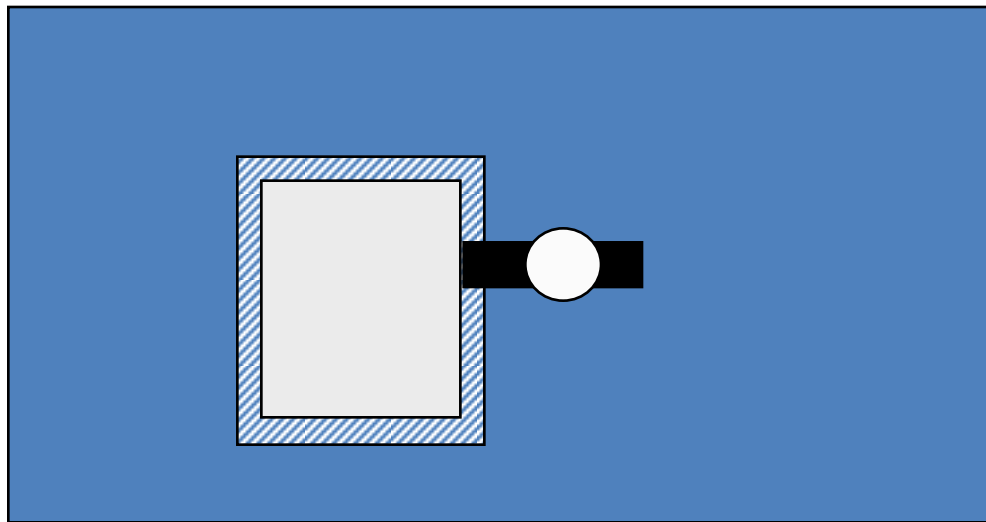
# 2ος Νόμος: Ποιότητα της ενέργειας (2/4)

- Η βαλβίδα ανοίγει και το αέριο υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας διαφεύγει στο χώρο. Το όλο σύστημα ισορροπεί σε τιμές πίεσης και θερμοκρασίας ελαφρά μεγαλύτερες αυτών του χώρου.



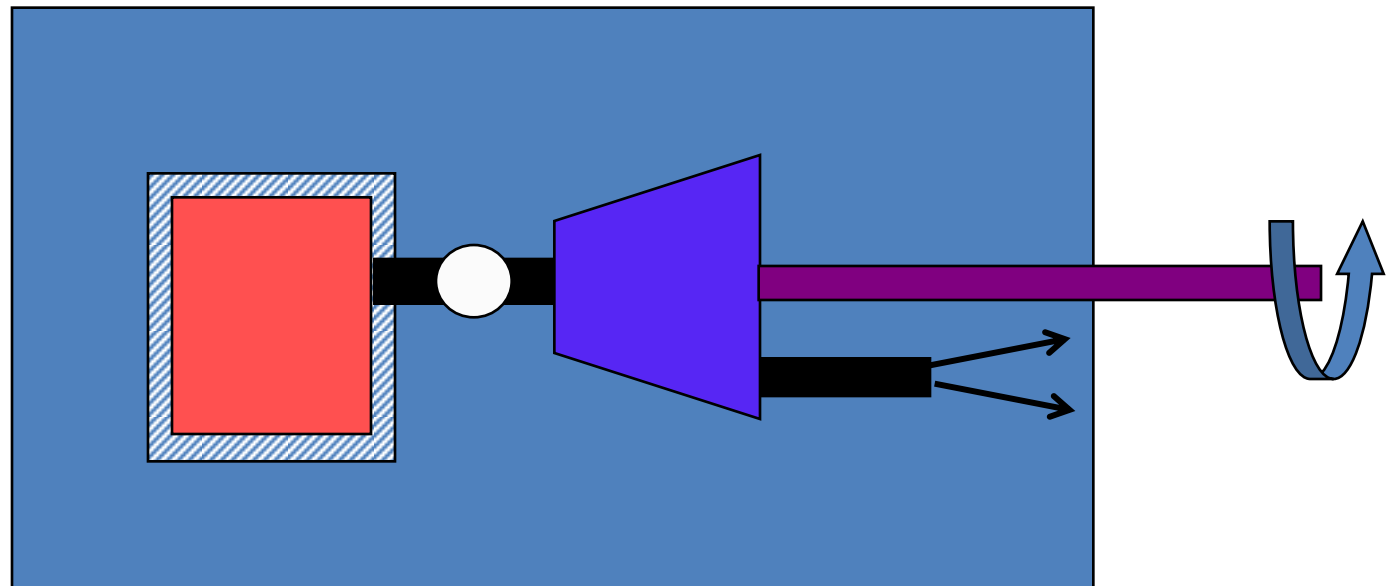
# 2ος Νόμος: Ποιότητα της ενέργειας (3/4)

- Κατά τη διάρκεια αυτής της μη ελεγχόμενης απελευθέρωσης του υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας αερίου, η ικανότητα παραγωγής χρήσιμου έργου έχει προφανώς χαθεί αν και η ενέργεια ολόκληρου του συστήματος δεν μεταβάλλεται. Και πάλι ο 1ος Νόμος στην πραγματικότητα δεν μας βοηθά να καταλάβουμε τη διαδικασία ή να υπολογίσουμε την απώλεια του δυναμικού παραγωγής έργου.



# 2ος Νόμος: Ποιότητα της ενέργειας (4/4)

- Θα μπορούσαμε να είχαμε παράγει έργο από το υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας αέριο αν η εκτόνωση γινόταν μέσω ενός στροβίλου. Ο 2ος Νόμος μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την ποιότητα της ενέργειας και πόσο αποδοτικά την χρησιμοποιούμε στην παραγωγή έργου.



# 2ος Νόμος: Όρια απόδοσης

- Ποιο είναι το μέγιστο έργο που μπορεί να παραχθεί από τις μηχανές; Ποιο είναι το πιο αποδοτικό ψυγείο που μπορεί να κατασκευασθεί;
  - Η μέγιστη απόδοση λαμβάνει χώρα όταν η ενέργεια χρησιμοποιείται στο πληρέστερο δυναμικό ή με την ελάχιστη ‘ανοργανωσιά’.
  - Η βέλτιστη απόδοση προκύπτει όταν η διαδικασία λαμβάνει χώρα με αντιστρεπτό τρόπο. Οι πραγματικές διαδικασίες ‘υποφέρουν’ από μη-αντιστρεπτά φαινόμενα όπως η τριβή.
  - Ο 2ος Νόμος μας επιτρέπει να υπολογίσουμε το μέγιστο έργο που μπορούμε να εξάγουμε από μια μηχανή και μας κατευθύνει στο που να συγκεντρώσουμε τις σχεδιαστικές μας προσπάθειες.



# Θερμική μηχανή

- Σύστημα προς και από το οποίο μεταφέρεται θερμότητα και από το οποίο παράγεται έργο.
- Έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :
  - Λειτουργεί σε κύκλο.
  - Λαμβάνει θερμότητα από πηγή υψηλής θερμοκρασίας (λέβητας, ηλιακή ενέργεια, πυρηνικός αντιδραστήρας ...).
  - Μετατρέπει μέρος της θερμότητας σε έργο (συνήθως ατράκτου).
  - Αποβάλλει το υπόλοιπο της θερμότητας σε δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας (ατμόσφαιρα, ποτάμια, θάλασσα...).
- Παραδείγματα θερμικών μηχανών: σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί σε κύκλο Rankine, αεριοστροβιλικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μηχανές εσωτερικής καύσης.





# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας

- Συσκευές με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
  - Λειτουργούν σε κύκλο.
  - Λαμβάνουν θερμότητα από δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας.
  - Καταναλώνουν έργο.
  - Αποβάλλουν θερμότητα σε δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας.

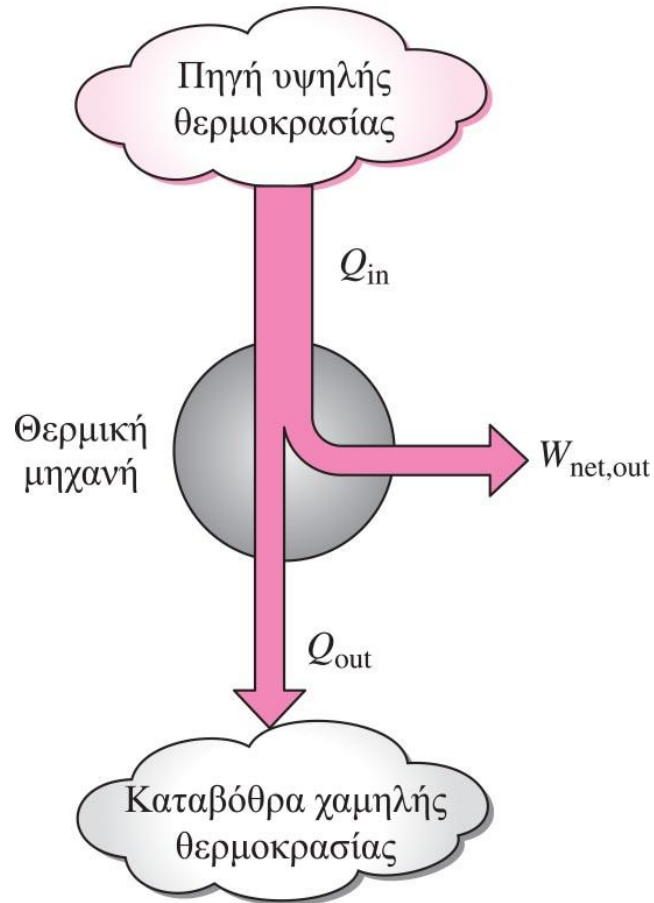


# Δεξαμενή Θερμότητας

- Σώμα μεγάλης θερμοχωρητικότητας που μπορεί να απορροφά ή να απορρίπτει πεπερασμένα ποσά θερμότητας χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του.
  - Π.χ ατμόσφαιρα, ωκεανοί, συστήματα δύο φάσεων.
- Θερμοδοχείο: δεξαμενή που παρέχει ενέργεια με μορφή θερμότητας.
- Ψυχοδοχείο: δεξαμενή που απορροφά ενέργεια με μορφή θερμότητας.



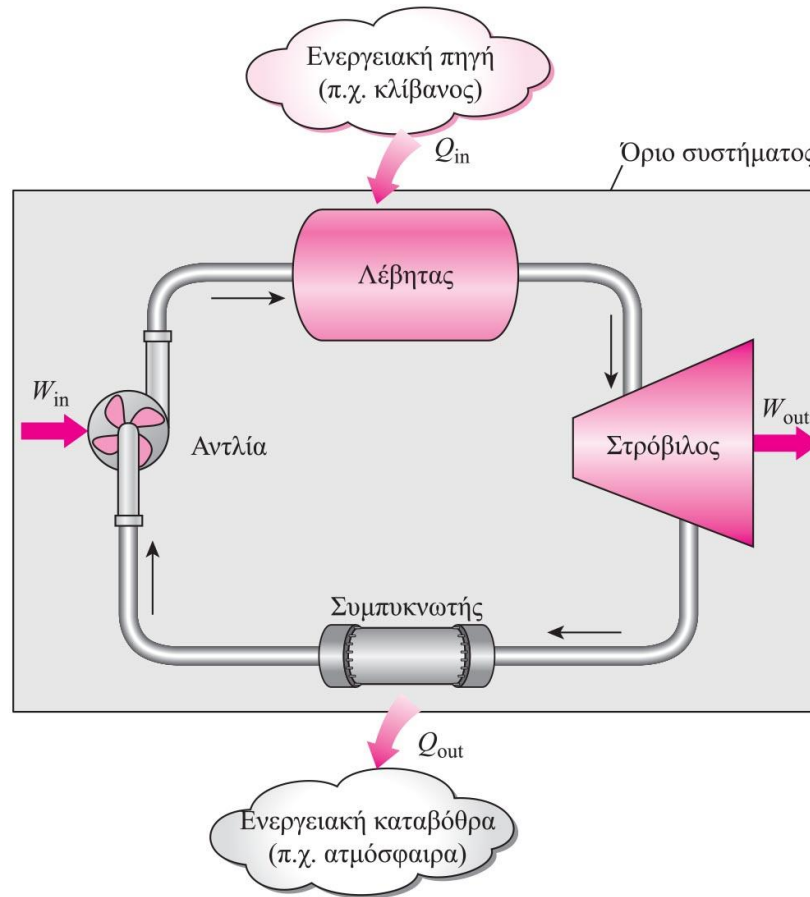
# Θερμική μηχανή (1/5)



**Εικόνα 2:** Μέρος της ενέργειας που λαμβάνει μια θερμική μηχανή μετατρέπεται σε έργο ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται σε ψυχροδοχείο



# Θερμική μηχανή (2/5)



**Τυπικός ΑΗΣ**

**Εικόνα 3:** Σχηματική αναπαράσταση μιας ατμομηχανής

# Θερμική μηχανή (3/5)

- $Q_{in}$ : η θερμότητα που προσδίδεται στον υδρατμό μέσα στο λέβητα
- $Q_{out}$ : η θερμότητα που απορρίπτεται από τον υδρατμό στο συμπυκνωτή
- $W_{out}$ : το έργο που παράγεται από τον υδρατμό κατά την εκτόνωσή του στο στρόβιλο
- $W_{in}$ : το έργο που απαιτείται για τη συμπίεση του νερού στη πίεση του λέβητα
  - $W_{net,out} = W_{out} - W_{in} = Q_{in} - Q_{out}$



# Θερμική μηχανή (4/5)

- **Απόδοση** είναι ο λόγος της επιθυμητής εξόδου προς την απαιτούμενη είσοδο για την παραγωγή της εξόδου αυτής σε μια συσκευή.
- Θερμική απόδοση:

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

- $\eta_{th}$  : πάντοτε μικρότερο της μονάδος αφού τα  $Q_H$  και  $Q_L$  είναι θετικά.



# Θερμική μηχανή (5/5)

- Θερμικές αποδόσεις:
  - Βενζινοκινητήρας 25%
  - Πετρελαιοκινητήρας 35%
  - Αεριοστρόβιλος 35%
  - ΑΗΣ μέχρι 50%



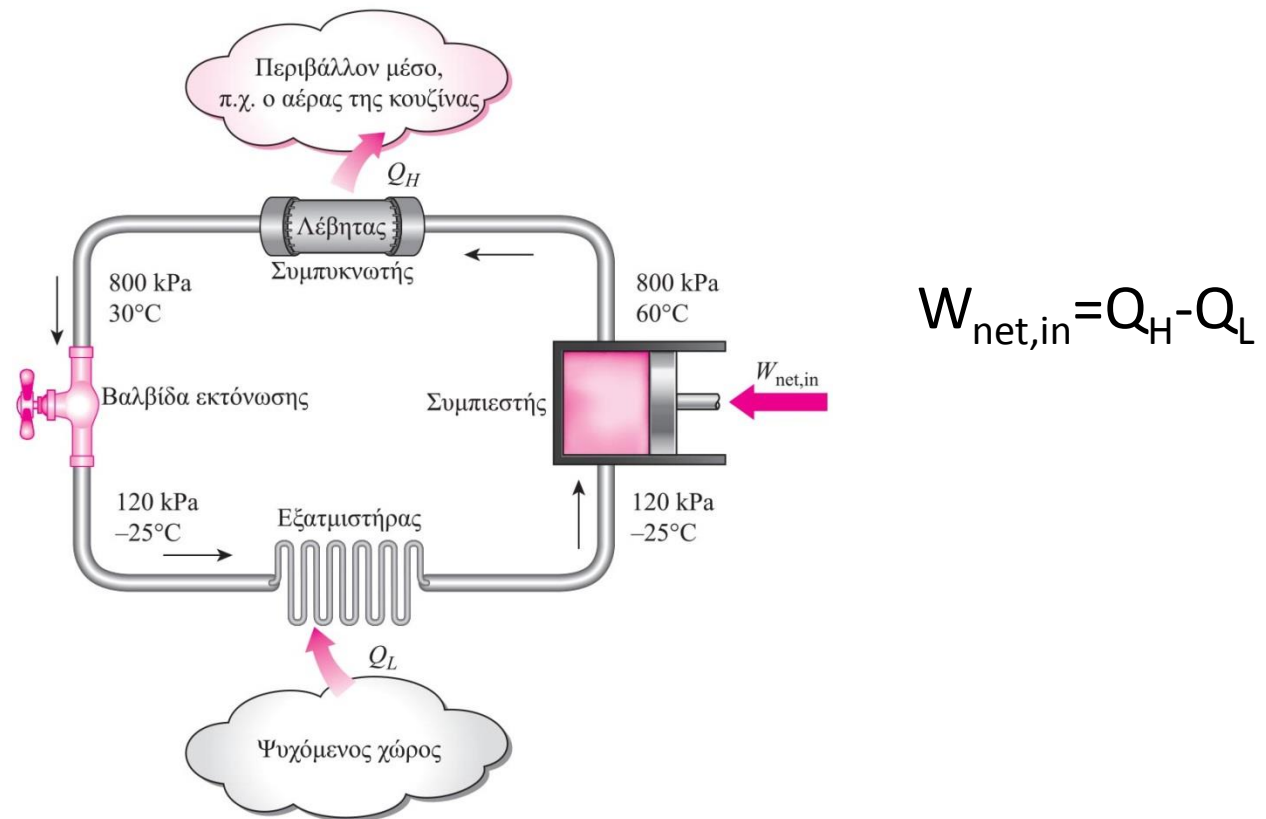
# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας (1/8)

- Συσκευές με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
  - Λειτουργούν σε κύκλο.
  - Λαμβάνουν θερμότητα από δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας.
  - Καταναλώνουν έργο.
  - Αποβάλλουν θερμότητα σε δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας.
- Ποια είναι η διαφορά μεταξύ ψυγείου και αντλίας θερμότητας;
  - Ψυγείο: η επιθυμητή θερμότητα απομακρύνεται από δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας.
  - Αντλία θερμότητας: η επιθυμητή θερμότητα απορρίπτεται σε δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας.





# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας (2/8)

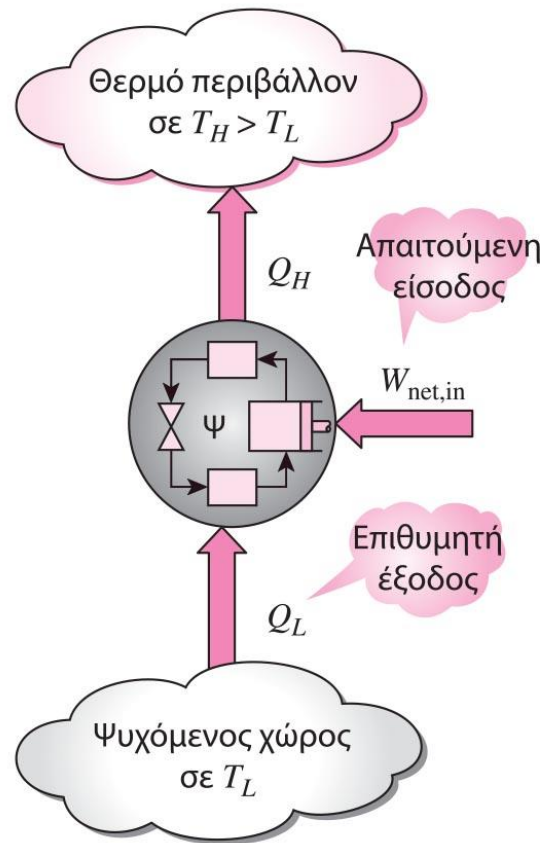


**Εικόνα 4:** Βασικά εξαρτήματα ενός ψυκτικού συστήματος και τυπικές συνθήκες λειτουργίας



# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας (3/8)

- Ψυγείο

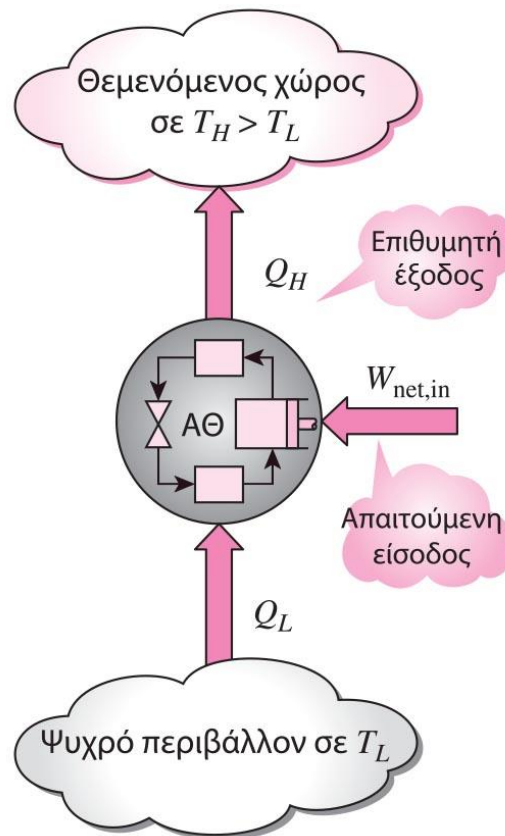


**Εικόνα 5:** Ο στόχος ενός ψυγείου είναι η απομάκρυνση θερμότητας από τον προς ψύξη χώρο



# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας (4/8)

- Αντλία θερμότητας



**Εικόνα 6:** Σκοπός μιας αντλίας θερμότητας είναι η παροχή θερμότητας στο θερμότερο χώρο



# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας (5/8)

- Συντελεστής επίδοσης ή λειτουργίας (παρόμοιος με την απόδοση των θερμικών μηχανών)
- Ψυγείο:

$$\text{COP}_R = \frac{\text{επιθυμητό αποτέλεσμα}}{\text{απαιτούμενη είσοδος}} = \frac{Q_L}{W_{\text{net,in}}} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

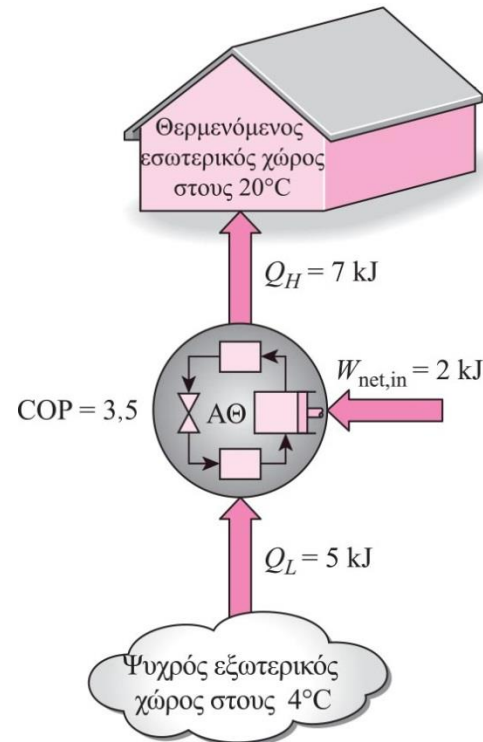
- Αντλία θερμότητας:

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{\text{επιθυμητό αποτέλεσμα}}{\text{απαιτούμενη είσοδος}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net,in}}} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$



# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας (6/8)

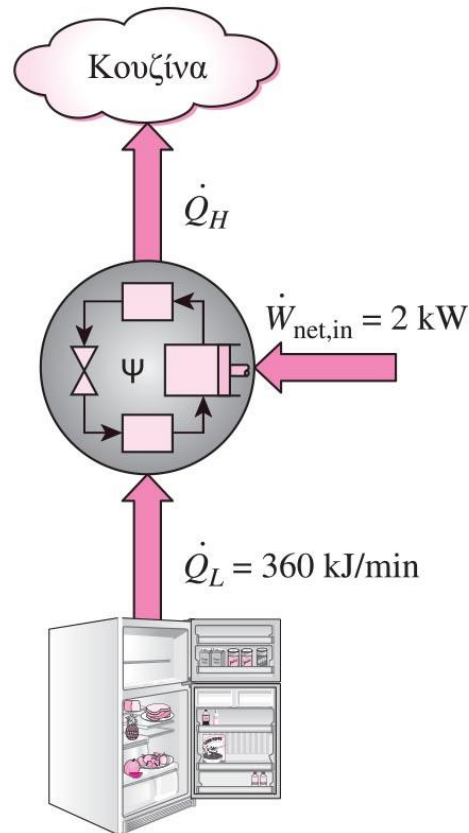
- $COP_{HP} = COP_R + 1$
- Ο COP μπορεί να είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα σε αντίθεση με τη θερμική απόδοση των θερμικών μηχανών.



**Εικόνα 7:** Το έργο που παρέχεται σε μια αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ενέργειας από το ψυχρό περιβάλλον και τη μεταφορά της στο θερμό εσωτερικό χώρο



# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας (7/8)

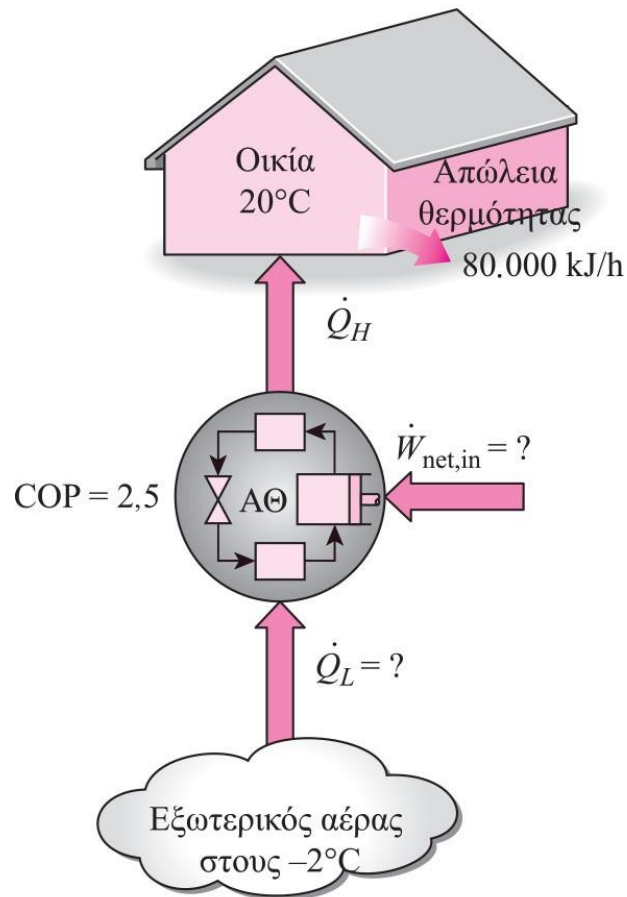


Διαμέρισμα συντήρησης 4°C

Εικόνα 8: Απόρριψη θερμότητας από ένα ψυγείο



# Ψυγεία και αντλίες θερμότητας (8/8)

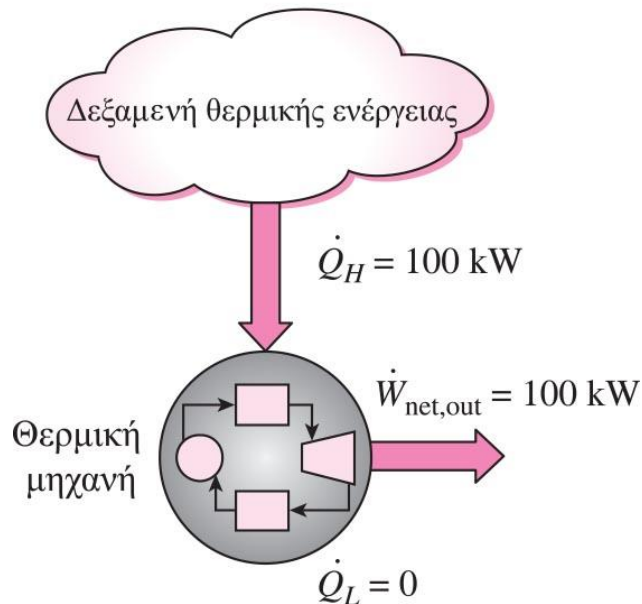


Εικόνα 9: Θέρμανση οικίας μέσω αντλίας θερμότητας

# 2ος Νόμος

## Διατύπωση Kelvin-Planck

- Μια διάταξη που λειτουργεί σε κύκλο είναι αδύνατο να παίρνει θερμότητα από μια μόνο δεξαμενή θερμότητας και να παράγει έργο.
- Καμιά θερμική μηχανή δεν μπορεί να έχει απόδοση 100%.



**Εικόνα 10:** Μια θερμική μηχανή που παραβιάζει τη διατύπωση Kelvin-Planck του 2<sup>ου</sup> νόμου της θερμοδυναμικής

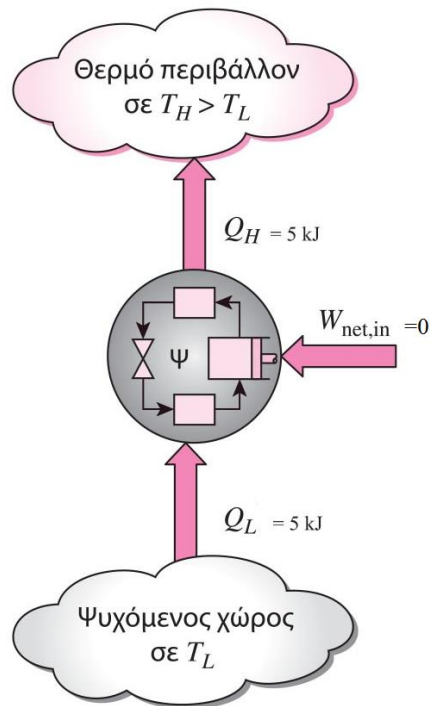




# 2ος Νόμος

## Διατύπωση Clausius

- Είναι αδύνατο να κατασκευασθεί διάταξη η οποία να λειτουργεί σε κύκλο και με μοναδικό στόχο τη μεταφορά θερμότητας από ψυχρότερο σε θερμότερο σώμα.



**Εικόνα 11:** Ένα ψυγείο που παραβιάζει τη διατύπωση Clausius του 2<sup>ου</sup> νόμου της θερμοδυναμικής

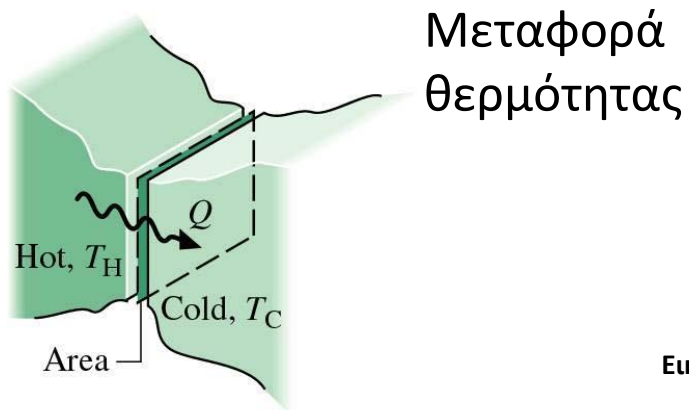


# Αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές διεργασίες

- Αντιστρεπτή ονομάζεται η διεργασία εκείνη η οποία μπορεί να λάβει χώρα και κατά την αντίθετη κατεύθυνση χωρίς ν' αφήσει κανένα ίχνος στο περιβάλλον.
- Όλες οι πραγματικές διαδικασίες είναι μη αντιστρεπτές.
- Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των παραγόντων που προκαλούν αναντιστρεπτότητες για να βελτιστοποιηθεί η απόδοση.



# Αναντιστρεπτότητες

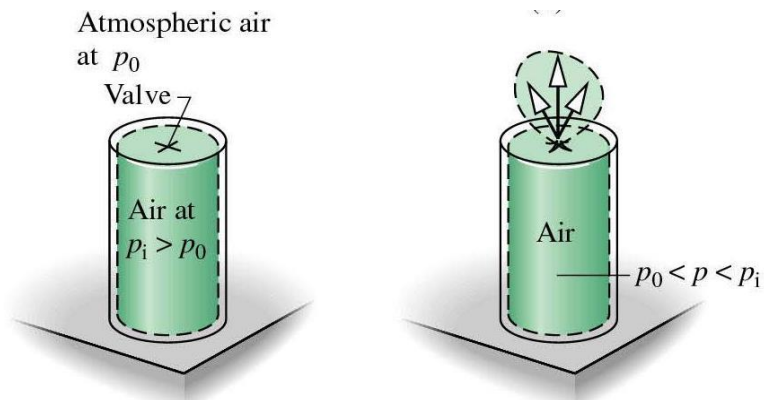


Εικόνα 12: Αναντιστρεπτότητες

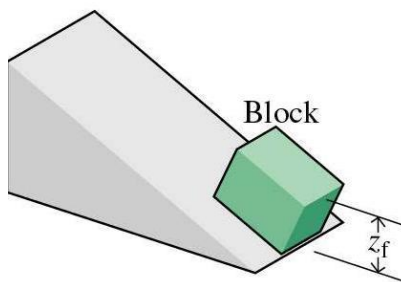
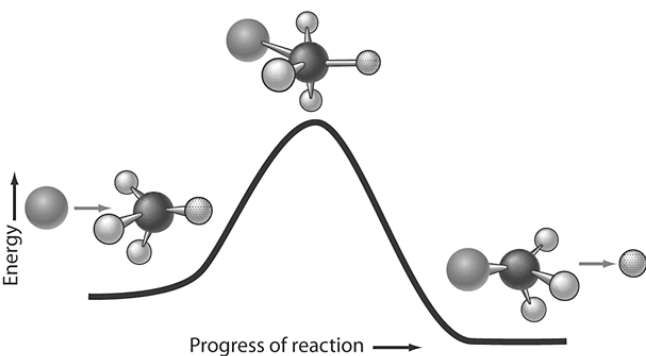
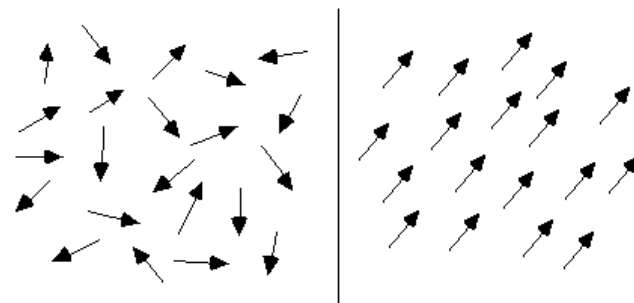
Χημική αντίδραση

Τριβή

Εκτόνωση



Μαγνήτιση/πόλωση



# Κύκλο Carnot (1/3)

- Το κύκλο Carnot είναι ένα ιδανικό κύκλο που αποτελείται από τέσσερις αντιστρεπτές διαδικασίες:

**Δύο ισοθερμοκρασιακές και δύο αδιαβατικές.**

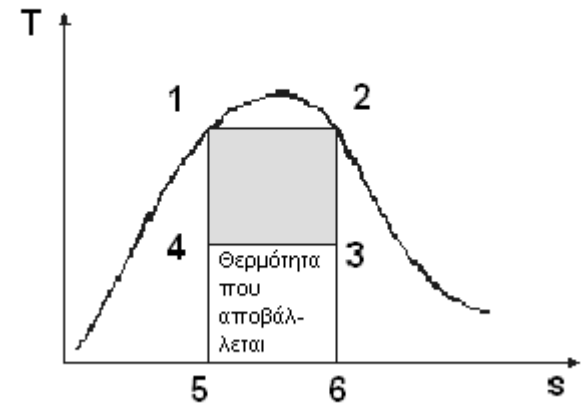
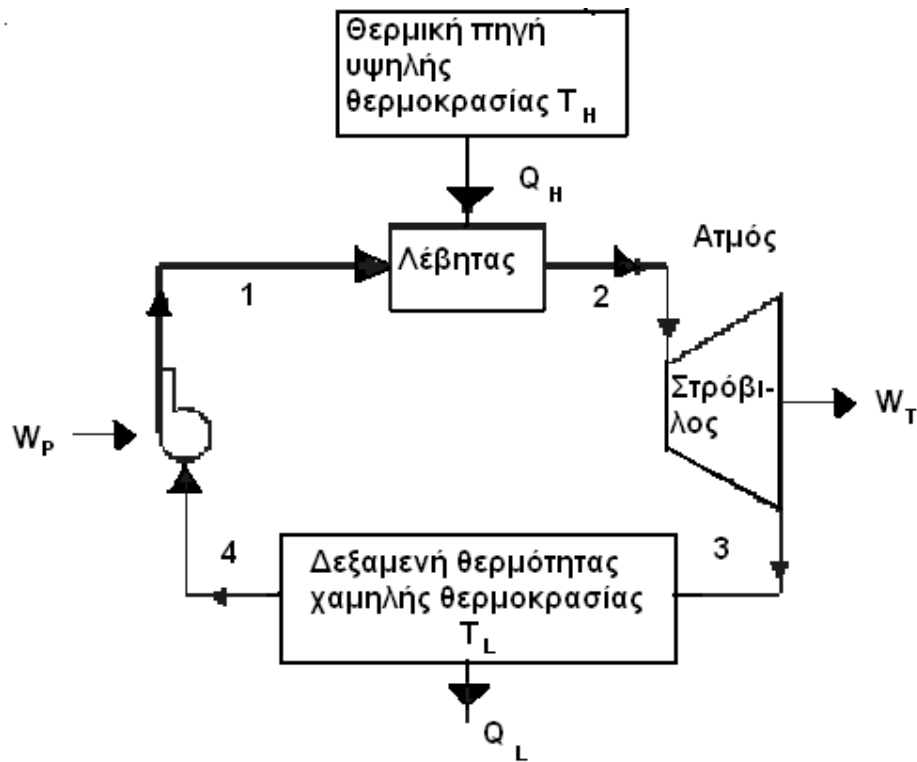


# Κύκλο Carnot (2/3)

- Αντιστρεπτή ισοθερμοκρασιακή μεταφορά θερμότητας στο σύστημα από δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας (1 - 2)
- Αντιστρεπτή αδιαβατική διαδικασία στην οποία το σύστημα παράγει έργο. Η θερμοκρασία του ρευστού μειώνεται (2 - 3)
- Αντιστρεπτή ισοθερμοκρασιακή αποβολή θερμότητας από το σύστημα σε δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας (3 - 4)
- Αντιστρεπτή αδιαβατική διαδικασία στην οποία το σύστημα δέχεται έργο. Η θερμοκρασία του ρευστού αυξάνεται (4 - 1)



# Κύκλο Carnot (3/3)

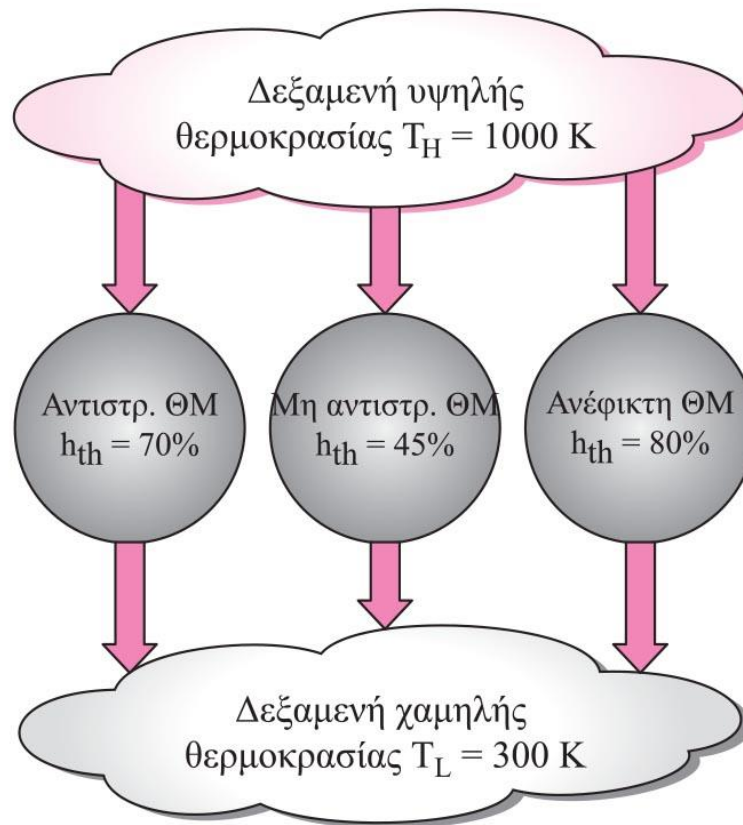


# Τα αξιώματα του Carnot (1/2)

- Η απόδοση μιας μη αντιστρεπτής θερμικής μηχανής είναι πάντα μικρότερη από την απόδοση μιας αντιστρεπτής όταν και οι δύο λειτουργούν μεταξύ των ίδιων θερμοκρασιών.
- Οι αποδόσεις όλων των αντιστρεπτών θερμικών μηχανών που λειτουργούν μεταξύ ίδιων θερμικών δεξαμενών είναι μεταξύ τους ίσες.



# Τα αξιώματα του Carnot (2/2)

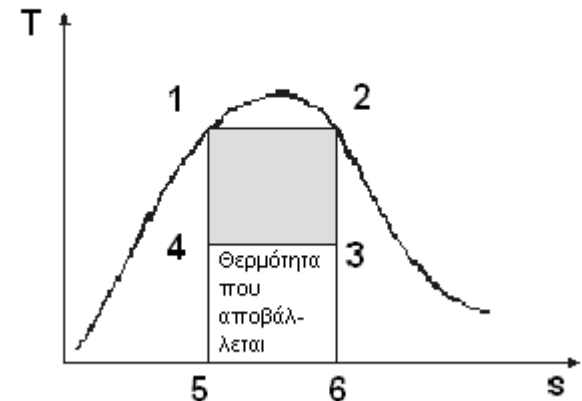
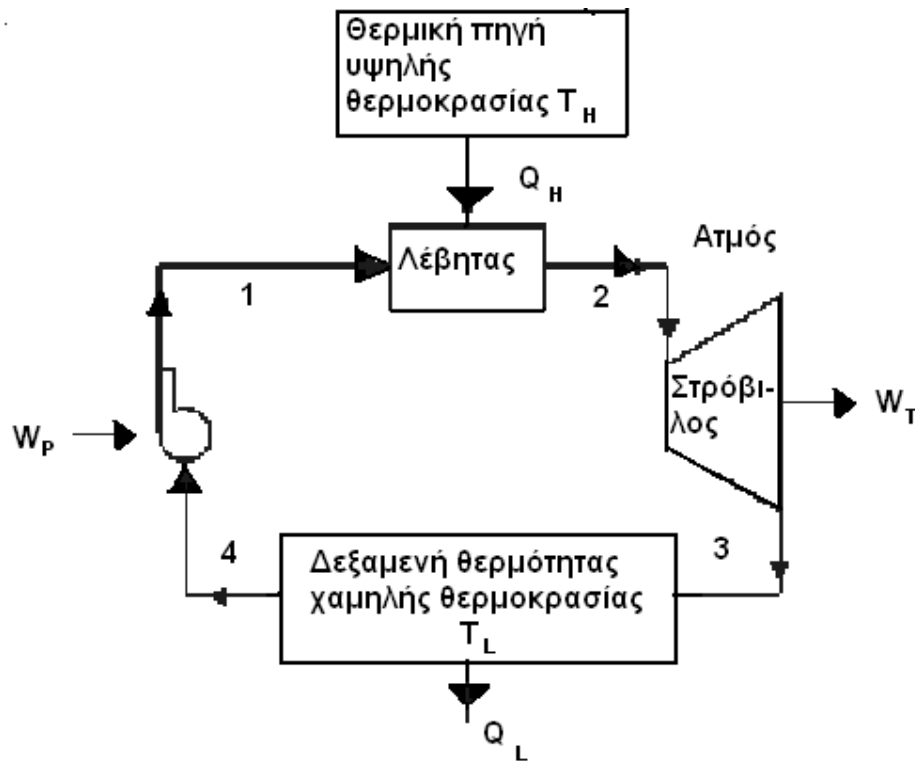


Εικόνα 13: Τα αξιώματα του Carnot





# Βαθμός απόδοσης κύκλου Carnot (1/3)



# Βαθμός απόδοσης κύκλου Carnot (2/3)

- Ο βαθμός απόδοσης θερμικής μηχανής είναι:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{H}}}$$

- Για αντιστρεπτές διεργασίες ισχύει:

$$\left( \frac{Q_{\text{H}}}{Q_{\text{L}}} \right)_{\text{rev}} = \frac{T_{\text{H}}}{T_{\text{L}}}$$

- Άρα η **απόδοση Carnot** θα είναι:

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_{\text{L}}}{T_{\text{H}}}$$



# Βαθμός απόδοσης κύκλου Carnot (3/3)

- Ο  $\eta_{th}$  είναι τόσο μεγαλύτερος όσο:
  - μεγαλύτερη είναι η  $T_H$
  - μικρότερη είναι η  $T_L$
- $\eta_{th}$ : εξαρτάται μόνο από τις  $T_H, T_L$
- Αντιστρεπτές μηχανές που λειτουργούν με ίδια όρια θερμοκρασίας έχουν ίδιο  $\eta_{th}$ .



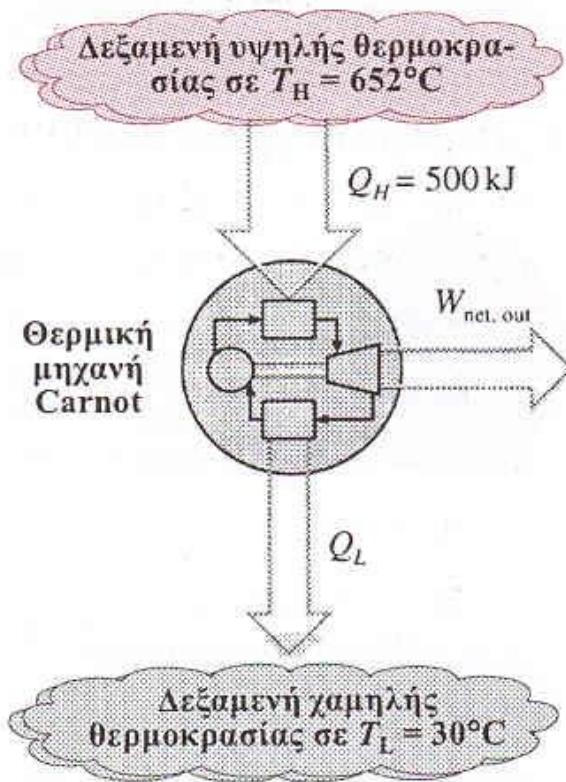
# Παράδειγμα 1ο

- Οι πιέσεις λειτουργίας σε κύκλο Carnot είναι 3 MPa και 4 kPa. Ζητείται ο βαθμός απόδοσης του κύκλου.
- Λύση:
  - Για  $P=3\text{MPa}$  είναι  $T_H=233.9\text{ }^\circ\text{C}=506.9\text{K}$
  - Για  $P=4\text{kPa}$  είναι  $T_L=28.96\text{ }^\circ\text{C}=301.96\text{K}$
- Άρα:

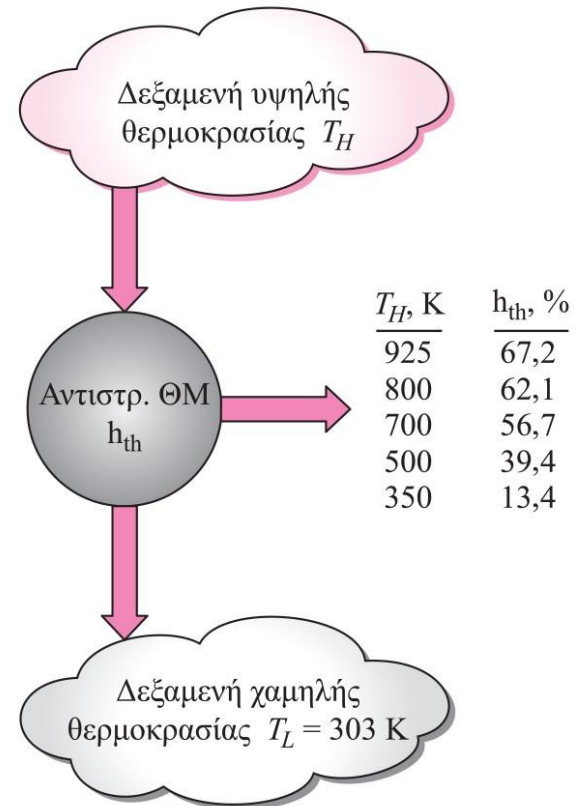
$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{301.96}{506.9} = 0.404$$



# Παράδειγμα 2ο



Εικόνα 14: Ανάλυση θερμικής μηχανής Carnot



Εικόνα 15: Το κλάσμα της θερμότητας που μπορεί να μετατραπεί σε έργο ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του θερμοδοχείου



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Αυτόματες διαδικασίες: (α) Αυτόματη μεταφορά θερμότητας, (β) Αυτόματη εκτόνωση, (γ) Πτώση: Σελίδα 236, Fundamentals of engineering thermodynamics, M. J. Moran, H. N. Shapiro, D. D. Boettner, M. B. Bailey

- Εικόνα 2:

Μέρος της ενέργειας που λαμβάνει μια θερμική μηχανή μετατρέπεται σε έργο ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται σε ψυχροδοχείο: Σελίδα 300, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 3:

Σχηματική αναπαράσταση μιας ατμομηχανής: Σελίδα 301, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 4:

Βασικά εξαρτήματα ενός ψυκτικού συστήματος και τυπικές συνθήκες λειτουργίας: Σελίδα 306, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

- Εικόνα 5:

Ο στόχος ενός ψυγείου είναι η απομάκρυνση θερμότητας από τον προς ψύξη χώρο: Σελίδα 306, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7η έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 6:

Σκοπός μιας αντλίας θερμότητας είναι η παροχή θερμότητας στο θερμότερο χώρο: Σελίδα 307, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7η έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 7:

Το έργο που παρέχεται σε μια αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ενέργειας από το ψυχρό περιβάλλον και τη μεταφορά της στο θερμό εσωτερικό χώρο: Σελίδα 307, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7η έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 8:

Απόρριψη θερμότητας από ένα ψυγείο: Σελίδα 309, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7η έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

- Εικόνα 9:

Θέρμανση οικίας μέσω αντλίας θερμότητας: Σελίδα 310, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7<sup>η</sup> έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 10:

Μια θερμική μηχανή που παραβιάζει τη διατύπωση Kelvin-Planck του 2<sup>ου</sup> νόμου της θερμοδυναμικής: Σελίδα 305, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7<sup>η</sup> έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 11:

Ένα ψυγείο που παραβιάζει τη διατύπωση Clausius του 2<sup>ου</sup> νόμου της θερμοδυναμικής: Σελίδα 310, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7<sup>η</sup> έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 12:

Αναντιστρεπτότητες: Fundamentals of Engineering Thermodynamics, M. J. Moran, H. N. Shapiro, D. D. Boettner, M. B. Bailey, 5<sup>th</sup> Edition





# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

- Εικόνα 13:

Τα αξιώματα του Carnot: Σελίδα 319, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7η έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 14:

Ανάλυση θερμικής μηχανής Carnot : Σελίδα 324, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7η έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 15:

Το κλάσμα της θερμότητας που μπορεί να μετατραπεί σε έργο ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του θερμοδοχείου: Σελίδα 324, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, 7η έκδοση, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Καδή Στυλιανή. «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ. Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS423/>.



# 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

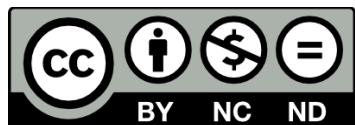
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα  
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2015



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



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη



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.

