

[119] Θερμοδυναμική Ι

Αξιώματα της Θερμοδυναμικής

καθηγητής Γ. Σκόδρας

Περιεχόμενα...

- ✓ **Αντιστρεπτές διεργασίες**
- ✓ **Μηδενικό Θερμοδυναμικό Αξίωμα**
- ✓ **Πρώτο Θερμοδυναμικό Αξίωμα**
- ✓ **Δεύτερο Θερμοδυναμικό Αξίωμα**



Ορισμοί...

- ❑ **Αντιστρεπτή διεργασία** είναι εκείνη που η κατεύθυνση της μπορεί να αντιστραφεί σε οποιοδήποτε στάδιο, με μια απειροστή μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών
- ❑ Εναλλακτικά, μια διεργασία είναι **αντιστρεπτή** όταν τόσο το σύστημα όσο και το περιβάλλον του μπορούν να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, χωρίς να απαιτείται να προσδοθεί στο σύστημα πρόσθετη ενέργεια



Ορισμοί...

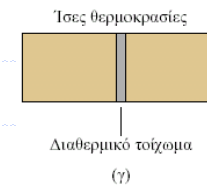
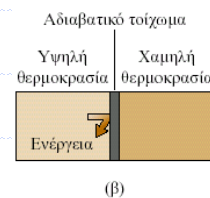
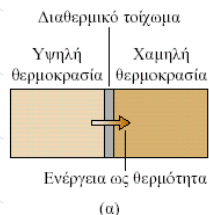
- ❑ **Μηχανικά αντιστρεπτές** είναι οι διεργασίες που ικανοποιούν τα ακόλουθα:
 - ✓ Οι αντιστρεπτές διεργασίες χαρακτηρίζονται από απειροστές μεταβολές και συνεπώς βρίσκονται πάντα σε προσδιορίσιμη κατάσταση ομοιόμορφης θερμοκρασίας και πίεσης και υπάρχει πάντα μια καταστατική εξίσωση
 - ✓ Επίσης το σύστημα απομακρύνεται απειροστά από την μηχανική ισορροπία με το περιβάλλον, παραμένοντας σε ισορροπία με αυτό
 - ✓ Συνεπώς, το έργο $\delta W = P dV$ μπορεί να εφαρμοστεί με την χρήση της πίεσης P , γιατί η πίεση (α) είναι τελείως προσδιορισμένη και ομοιόμορφη και (β) εξισορροπεί σχεδόν ακριβώς τις εξωτερικές δυνάμεις



Ορισμοί...

□ Μηδενικό Θερμοδυναμικό αξίωμα

- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 1:** Όταν δύο (ή περισσότερα) συστήματα έρθουν σε επαφή μέσω διαθερμικών τοιχωμάτων, τότε μεταβάλλονται οι καταστάσεις τους και μετά την παρέλευση πεπερασμένου χρόνου δημιουργούνται νέες καταστάσεις ισορροπίας, που δε μεταβάλλονται πλέον
Τότε ότι τα συστήματα βρίσκονται σε **θερμική ισορροπία**
- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 2:** Όταν δύο σώματα είναι σε θερμική ισορροπία προς ένα τρίτο σώμα, τότε είναι και σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους
Οι καταστάσεις των συστημάτων αυτών χαρακτηρίζονται από μια κοινή ιδιότητα που ονομάζεται **θερμοκρασία**
- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 3:** Δύο σώματα είναι σε θερμική ισορροπία, αν χαρακτηρίζονται από την ίδια θερμοκρασία, ακόμα κι αν δεν είναι σε επαφή
Εάν **δεν υπάρχει** θερμική ισορροπία τότε **η ενέργεια ρέει από την περιοχή υψηλής θερμοκρασίας προς την περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας**



Ορισμοί...

□ **Πρώτο Θερμοδυναμικό αξίωμα**

- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 1**: Υπάρχει μια μορφή ενέργειας, η εσωτερική ενέργεια U , που είναι ενυπάρχουσα ιδιότητα κάθε συστήματος και συνδέεται συναρτησιακά με τις μετρήσιμες ιδιότητες που καθορίζουν το σύστημα. Για κλειστό σύστημα, που δεν κινείται, οι μεταβολές της ιδιότητας δίνονται από τη σχέση

$$dU = \delta Q - \delta W$$

- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 2**: Η ολική ενέργεια κάθε συστήματος και του περιβάλλοντος του, θεωρουμένων ως σύνολο, παραμένει σταθερή
- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 3**: Η ενέργεια δεν χάνεται, μετατρέπεται από την μια μορφή στην άλλη χωρίς να καταστρέφεται



Ορισμοί...

□ Δεύτερο Θερμοδυναμικό αξίωμα

- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 1:** Υπάρχει μια ιδιότητα που ονομάζεται εντροπία S , που είναι ενυπάρχουσα ιδιότητα κάθε συστήματος και συνδέεται συναρτησιακά με τις μετρήσιμες ιδιότητες που χαρακτηρίζουν το σύστημα
- ✓ Για μια αντιστρεπτή διεργασία οι μεταβολές της ιδιότητας δίνονται από τη σχέση

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

- ✓ **Αξιοματική διατύπωση 2:** Η μεταβολή της εντροπίας ενός συστήματος και του περιβάλλοντος του, θεωρουμένων ως σύνολο, είναι πάντοτε θετική και πλησιάζει το μηδέν για κάθε αντιστρεπτή διεργασία

Όλες οι φυσικές διεργασίες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της εντροπίας

$$\Delta S_{ολική} \geq 0$$

Ο δείκτης "ολική" σημαίνει ότι συμπεριλαμβάνονται το σύστημα και το περιβάλλον

Η ισότητα ισχύει μόνο στην οριακή περίπτωση της αντιστρεπτής διεργασίας



Ορισμοί...

Πρώτο Θερμοδυναμικό Αξίωμα (Αρχή διατήρησης ενέργειας)

- ❑ Η ενέργεια δεν χάνεται, μετατρέπεται από την μια μορφή στην άλλη χωρίς να καταστρέφεται

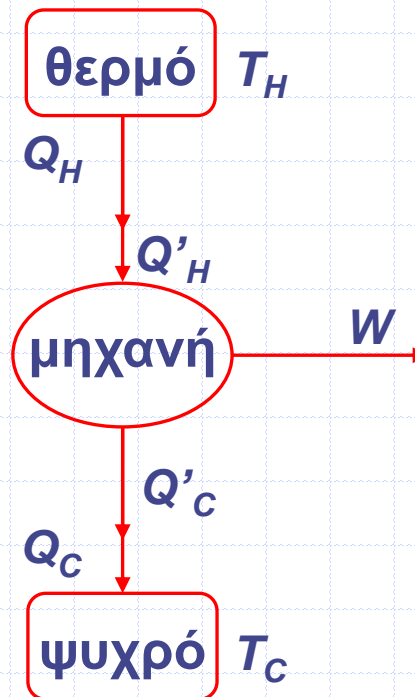
Δεύτερο Θερμοδυναμικό Αξίωμα (Ποιότητα Ενέργειας)

- ❑ Δεν υπάρχει διάταξη που να μετατρέπει πλήρως την απορροφόμενη θερμότητα σε μηχανικό έργο
- ❑ Δεν είναι δυνατή η μεταφορά θερμότητας από μια θερμοκρασία σε άλλη υψηλότερη, χωρίς κατανάλωση έργου (*Clausius*)
- ❑ Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί μηχανή, η οποία να λειτουργεί σε μια κυκλικά επαναλαμβανόμενη διεργασία και να μην κάνει τίποτε άλλο από το να παίρνει ένα ποσό θερμότητας από κάποιο θερμοδοχείο και να παράγει ισοδύναμο έργο (*Kelvin – Planck*)



Ορισμοί...

- **Θερμική μηχανή** ή **κίνητηρας** ονομάζεται μια συσκευή ή διάταξη που παράγει έργο από τη θερμότητα εκτελώντας μια κυκλική διεργασία, δηλαδή, ανταλλάσσει θερμότητα με δύο θερμοδοχεία αλλά η ίδια παραμένει αμετάβλητη



Ορισμοί...

- ❑ Οι θερμικές μηχανές **Carnot** εργάζονται μεταξύ δύο σταθερών θερμοκρασιακών επιπέδων
- ❑ Οι εξισώσεις *Carnot* είναι:

$$\frac{Q_C}{T_C} = \frac{-Q_H}{T_H} \quad \text{και} \quad \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

και, εναλλακτικά

$$\left| \frac{Q_C}{Q_H} \right| = \frac{T_C}{T_H} \quad \text{και} \quad \left| \frac{W}{Q_H} \right| = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Ο λόγος της θερμότητας που απορρίπτεται από μια μηχανή Carnot είναι ίσος με τον λόγο των θερμοκρασιών

Θερμικός βαθμός απόδοσης η μιας θερμικής μηχανής *Carnot*

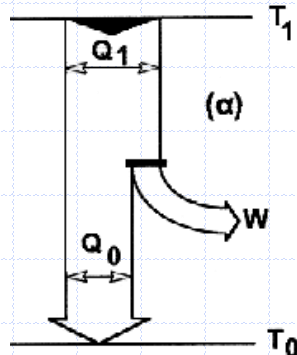
Για να μηδενιστεί η απορριπτόμενη θερμότητα $|Q_C|$ πρέπει η T_C να είναι ίση με το απόλυτο μηδέν (0 K)

Όλες οι θερμικές μηχανές πρέπει να απορρίπτουν μέρος της θερμότητας που παίρνουν σε θερμοδοχεία ικανά να την παραλάβουν

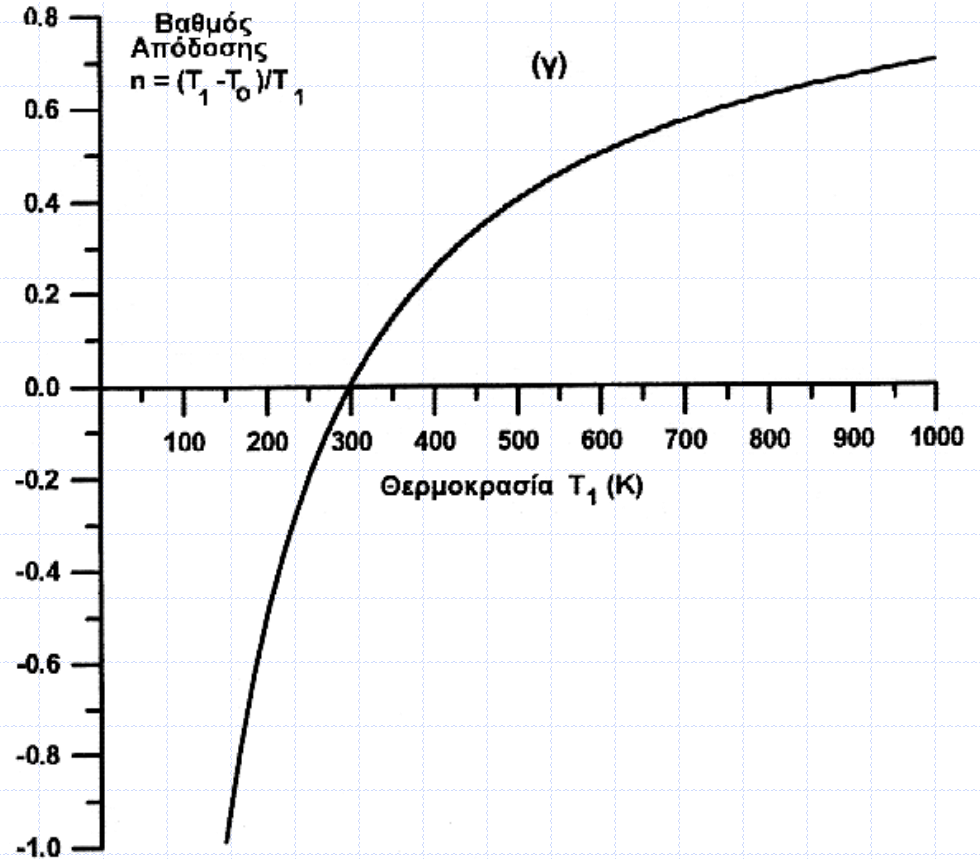
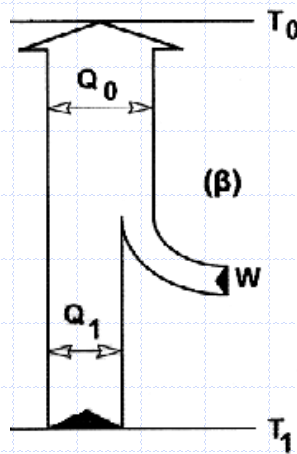


Ορισμοί...

(α) Κύκλος ισχύος



(β) Κύκλος ψύξης

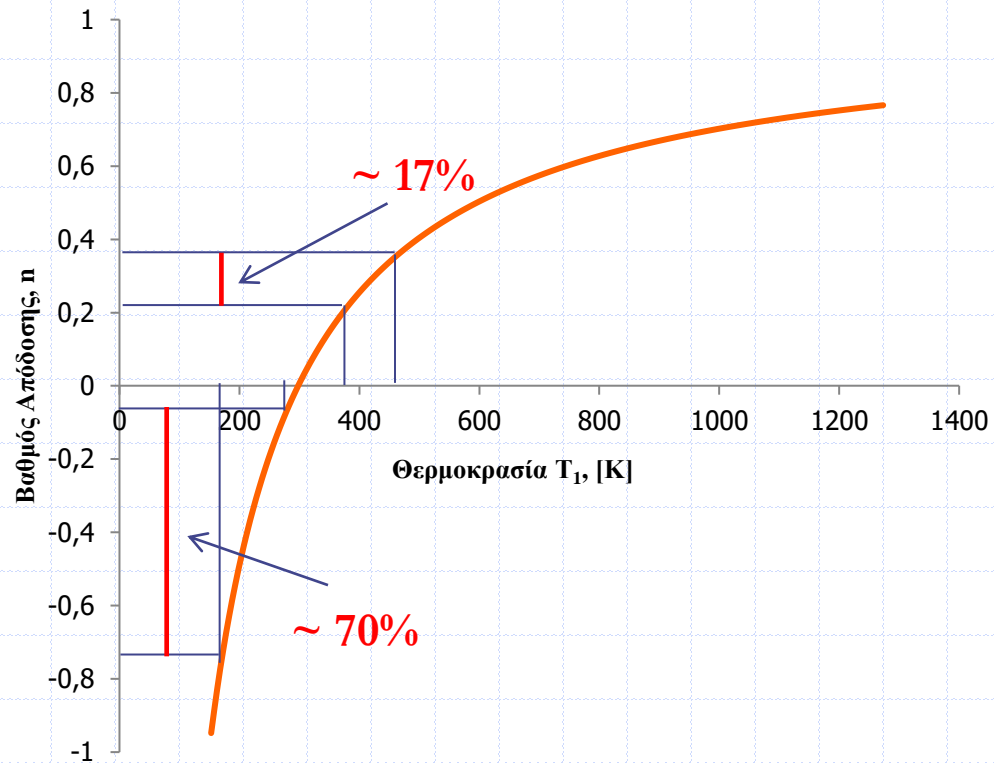


Μέγιστος βαθμός απόδοσης αντιστρεπτού κύκλου μετατροπής θερμότητας σε έργο



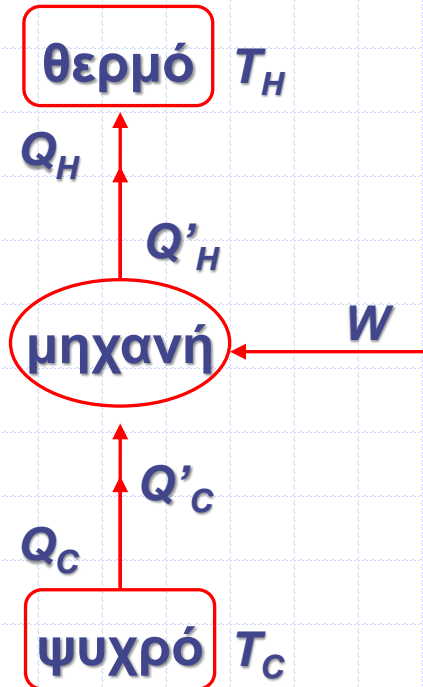
Ορισμοί...

$$n = \frac{T_1 - T_0}{T_1}$$



Ορισμοί...

- ❑ Μια αντιστρεπτή θερμική μηχανή μπορεί να αντιστραφεί, δηλ. να εργάζεται ως **αντλία θερμότητας** ή ψυγείο
- ❑ Ισχύουν οι ίδιες εξισώσεις, με μόνη τη διαφορά ότι το έργο καταναλώνεται και χρησιμοποιείται για την «**άντληση**» θερμότητας από το ψυχρό προς το θερμό θερμοδοχείο



- ❑ Η ποσότητα $|Q_c| / |W|$ είναι ο λόγος της θερμότητας που απομακρύνεται στη χαμηλή θερμοκρασία προς το έργο που απαιτείται
- ❑ **Βαθμός απόδοσης** ή **λόγος ψυκτικής ενέργειας**, n_{cool} :

$$n_{cool} = \frac{|Q_c|}{|W|} = \frac{T_c}{T_H - T_c}$$



Κύκλος Carnot...

Θερμότητα Q_H ρέει προς το αέριο για να αντισταθμίσει το έργο που παράγεται

(1) Σε θερμική ισορροπία στην T_H το έμβολο στο άνω νεκρό σημείο

Το αέριο εκτονώνεται αντιστρεπτά και ισόθερμα 1→2

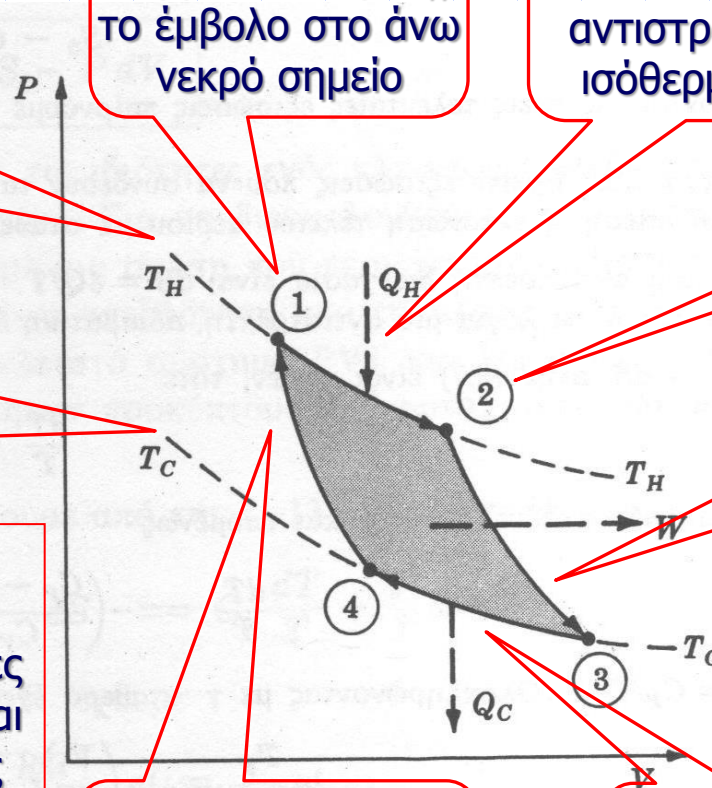
(2) Η μηχανή είναι μονωμένη ως προς τα θερμοδοχεία

Απορροφά θερμότητα Q_H από θερμοδοχείο σε θερμοκρασία T_H

Απορρίπτει θερμότητα Q_C από θερμοδοχείο σε θερμοκρασία T_C

Το αέριο εκτονώνεται αντιστρεπτά και αδιαβατικά 2→3

Αποκαθίσταται θερμική ισορροπία στην T_C



Τα βήματα του κύκλου στα οποία μεταφέρεται θερμότητα είναι ισόθερμες διεργασίες (σε T_H ή T_C) και όλα τα άλλα αδιαβατικές μεταξύ των T_H και T_C

Το αέριο συμπιέζεται αντιστρεπτά και αδιαβατικά 4→1

Το αέριο συμπιέζεται και ισόθερμα 3→4

Το καταναλισκόμενο έργο αντισταθμίζεται από την θερμότητα Q_C απορρίπτεται



Θερμοδυναμική Ι

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!

