

# Θερμικές Μηχανές

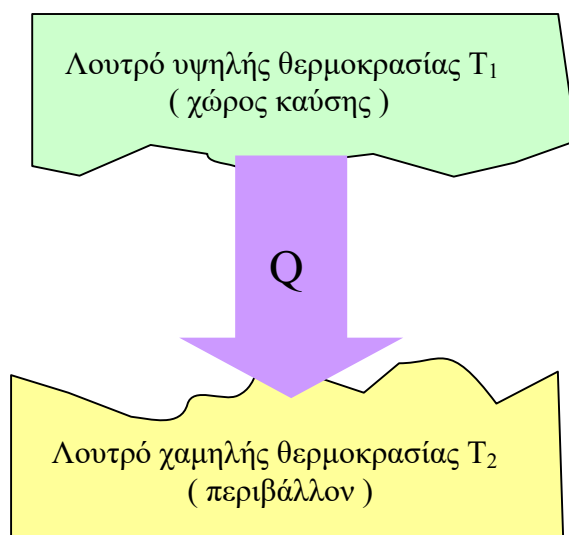
## Οι μηχανές και η σημασία τους

Πριν πούμε τι είναι οι θερμικές μηχανές θα μιλήσουμε γενικότερα για τις μηχανές. Μηχανές ονομάζουμε τα τεχνήματα τα οποία όταν λειτουργούν παράγουν έργο. Είναι ίσως τα πιο σπουδαία τεχνήματα που έφτιαξε ο άνθρωπος, αφού με τη βοήθειά τους παράγονται **όλα** τα καταναλωτικά αγαθά. Με τη λειτουργία των μηχανών παράγονται οι τροφές μας (αφού με τη βοήθεια των μηχανών οργώνουμε σπέρνουμε, θερίζουμε κλπ), φτιάχνονται τα ρούχα μας, έχουμε νερό στις βρύσες μας, μεταφερόμαστε κλπ. Η κατασκευή τους απάλλαξε την ανθρωπότητα από τη δουλεία, αφού το ρόλο των μηχανών πριν από αυτές τον παίζανε οι άνθρωποι (δούλοι – υπηρέτες) και τα ζώα.

Στην εποχή του Περικλή στην Αρχαία Αθήνα, ζούσανε περίπου 30.000 πολίτες και 300.000 σκλάβοι. Σε κάποια δίκη της εποχής εκείνης ένας πολίτης κατηγορήθηκε, ότι αδικώς έπαιρνε κάποιο κρατικό επίδομα φτώχειας, αφού στην πραγματικότητα δεν ήταν φτωχός. Και αυτό γιατί είχε δικό του άλογο. Ο Λυσίας, ο συνήγορος που ανέλαβε να υπερασπίσει τον κατηγορούμενο, ένα από τα επιχειρήματα που ανέπτυξε για να αποδείξει ότι ο πελάτης του ήταν πράγματι φτωχός, ήταν ότι μολονότι είχε άλογο, δεν είχε ούτε έναν δούλο.

## Οι θερμικές μηχανές

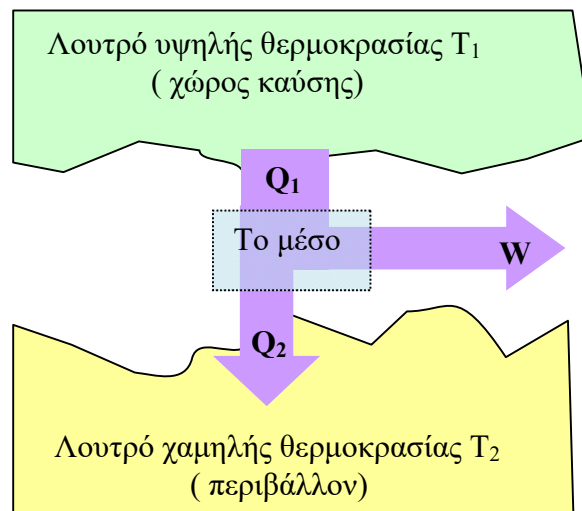
Τώρα θα περιγράψουμε τι είναι οι θερμικές μηχανές. Όλες οι θερμικές μηχανές έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό. Κάινε κάποιο καύσιμο με αποτέλεσμα να υπάρχει μέσα στη μηχανή ένας χώρος που έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από το περιβάλλον. Δεν είναι όμως μία απλή φωτιά. Η θερμοδυναμική περιγραφή μίας απλής φωτιάς είναι η παρακάτω.



Σχήμα 1 --θερμοδυναμική απεικόνιση μίας απλής φωτιάς--

Όταν λέμε λουτρό θερμότητας, εννοούμε έναν χώρο που διατηρεί σταθερή θερμοκρασία. Στο χώρο καύσης η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή αφού τον τροφοδοτούμε συνεχώς με καύσιμη ύλη η οποία καίγεται, δηλαδή ενώνεται με το οξυγόνο μέσω μίας εξώθερμης αντίδρασης. Το περιβάλλον έχει σταθερή θερμοκρασία λόγω της μεγάλης του θερμοχωρητικότητας. Έτσι μπορεί να παίρνει ή να δίνει μικρά ποσά θερμότητας χωρίς να αλλάζει αισθητά η θερμοκρασία του.

Η θερμική μηχανή είναι κάτι παραπάνω από μία απλή φωτιά. Και αυτό γιατί ένα μέρος της θερμότητας που ρέει από το ζεστό στο κρύο, μετατρέπεται σε έργο. Η θερμοδυναμική απεικόνιση μίας θερμικής μηχανής μπορεί να αποδοθεί με το σχήμα 2.



Σχήμα 2. --απεικόνιση μίας θερμικής μηχανής --

Αυτή η «κλοπή» ενός μέρους της θερμότητας  $Q_1$  και η μετατροπή της σε έργο, γίνεται με τη βοήθεια της χρήσης των μεταβολών ενός αέριου μέσου. Γιατί όμως το μέσο θα πρέπει να είναι αέριο; Η απάντηση είναι γιατί μέσω των μεταβολών ενός αέριου μπορεί να παραχθεί πολύ πιο γρήγορα και πιο αποτελεσματικά έργο, λόγω της απότομης μεταβολής του όγκου. Αν χρησιμοποιούσαμε υγρό ή στερεό, τότε η μεταβολή του όγκου θα παρήγαγε ένα πολύ μικρότερο έργο, αφού ο όγκος στα στερεά και στα υγρά είναι περίπου σταθερός, ενώ η μεταβολή σχήματος (ελατήρια) θα παρήγαγε μικρά έργα σε μεγάλους χρόνους.

Η μεταβολή που παθαίνει το αέριο θα πρέπει να είναι οπωσδήποτε κυκλική. Ας υποθέσουμε ότι φτιάξαμε μία μηχανή που λειτουργεί με μέσο ένα αέριο, το οποίο όμως δεν εκτελεί κυκλικές μεταβολές. Τότε το αέριο δεν θα γύριζε ποτέ του στην ίδια κατάσταση πίεσης και όγκου από την οποία ξεκίνησε. Έτσι η πίεση ή θα αυξανόταν συνεχώς ή θα ελαττωνόταν συνεχώς. Αυτό θα οδηγούσε σε σταμάτημα της μηχανής αφού η πίεση θα γινόταν είτε αρκετά μεγάλη είτε αρκετά μικρή. Το ίδιο θα συνέβαινε και για τον όγκο. Άρα η απαίτηση της διαρκούς λειτουργίας της μηχανής, απαιτεί η μεταβολή που παθαίνει το αέριο να είναι κυκλική.

### Ερώτηση:

Θα μπορούσε μια θερμική μηχανή αντί για φωτιά να λειτουργεί με παγάκια; Δηλαδή το λουτρό θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας  $T_1$  να είναι το περιβάλλον και το χαμηλής θερμοκρασίας  $T_2$  να είναι ένας χώρος με παγάκια; Αν η απάντησή σας είναι θετική γιατί δεν βλέπουμε στην πράξη τέτοιες παγομηχανές;

## Η απόδοση μίας θερμικής μηχανής

Σε μία κυκλική μεταβολή ισχύει ότι  $\Delta U=0$ .

Εφαρμόζοντας το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα για μία θερμική μηχανή θα πάρουμε:

$$Q_1 - Q_2 = W \quad (1)$$

Απόδοση μίας συσκευής ονομάζουμε την ωφέλιμη ενέργεια προς την προσφερόμενη. Έτσι η απόδοση μιας θερμικής μηχανής θα είναι ίση με:

$$a = \frac{W}{Q_1} \quad (2)$$

Λόγω της σχέσεως (1) η απόδοση μίας θερμικής μηχανής θα ισούται με:

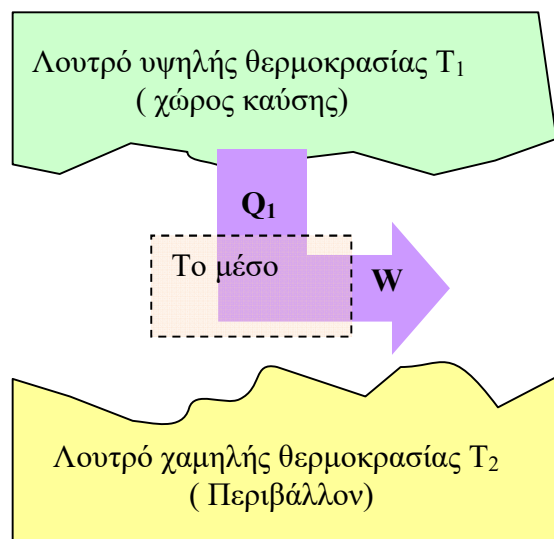
$$a = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (3)$$

## Το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα

Το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: **Δεν μπορούμε να κατασκευάσουμε μία θερμική μηχανή που να έχει απόδοση 100%.**

Αυτή η πρόταση σύμφωνα με τη σχέση (3) μας λέει ότι δεν είναι δυνατό σε μία θερμική μηχανή το  $Q_2=0$ . Με άλλα λόγια δεν είναι δυνατό, όλη η ροή θερμότητας να μετατραπεί σε έργο.

Για να δούμε το γιατί. Ας υποθέσουμε ότι υπήρχε μία μηχανή η οποία μετέτρεπε όλη τη θερμότητα  $Q_1$  σε έργο. Η θερμοδυναμική απεικόνιση αυτής της «ιδανικής» μηχανής φαίνεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3. Απεικόνιση μιας ιδανικής θερμικής μηχανής

Παρατηρούμε ότι σε μία τέτοια «ιδανική» μηχανή το λουτρό θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας ( περιβάλλον ) δεν παίζει κανένα ρόλο. Έτσι θα μπορούσε κάλλιστα το περιβάλλον να έχει την ίδια θερμοκρασία με το λουτρό θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας. **Δηλαδή αυτή η μηχανή δεν θα χρειαζόταν να καίει κανένα καύσιμο!**

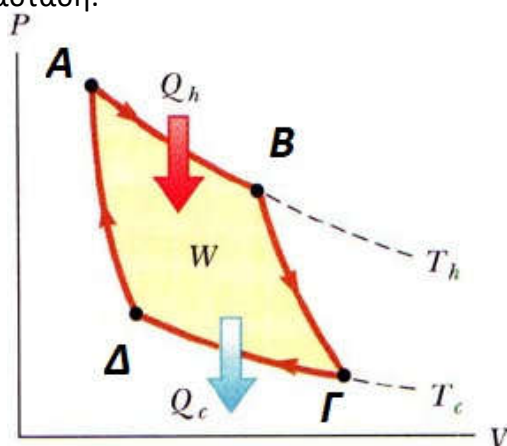
Οι μηχανικοί όταν άρχισε να αναπτύσσεται η τεχνολογία των μηχανών, φτιάξανε διάφορες μηχανές με διάφορα χαρακτηριστικά. Άλλες ήταν δίχρονες, άλλες τετράχρονες, άλλες εσωτερικής και άλλες εξωτερικής καύσης κλπ. Πάντα όμως διαπιστώσανε ότι όλες οι θερμικές μηχανές έπρεπε να καίνε κάποιο καύσιμο. Είτε ξύλα, είτε πετρέλαιο, είτε φυσικό αέριο κλπ. Πάντα δηλαδή, ήταν απαραίτητος ένας χώρος καύσης. Το γιατί όμως χρειαζόταν να υπάρχει απαραίτητα ένας χώρος καύσης δεν μπορούσαν να το ερμηνεύσουν θεωρητικά. Γι' αυτό αυτήν την παρατήρηση την ανήγαγαν σε αξίωμα. Άρα το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα μπορεί να διατυπωθεί πιο απλά από το πειραματικό γεγονός ότι δεν είναι δυνατό να φτιάξουμε θερμική μηχανή που να μην καίει κάποιο καύσιμο ή στην πιο ακραία περίπτωση να μην υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε δύο λουτρά θερμότητας.

## Η μηχανή Carnot

Για να μπορούμε να απεικονίσουμε μία μεταβολή στο διάγραμμα P-V με μία συνεχόμενη γραμμή ώστε να μπορούμε στη συνέχεια μέσω του εμβαδού να υπολογίσουμε το έργο, θα πρέπει η μεταβολή να είναι αντιστρεπτή. Δηλαδή να πραγματοποιείται πολύ αργά και χωρίς τριβές. Για να ισχύει στο αέριο μέσο της μηχανής η καταστατική εξίσωση  $PV=nRT$  θα πρέπει το αέριο να είναι ιδανικό. Άρα η θεωρητική μελέτη μίας θερμικής μηχανής είναι εφικτή αν οι μεταβολές είναι αντιστρεπτές και το μέσο ιδανικό αέριο. Αν τώρα μία τέτοια θερμική μηχανή που οι μεταβολές της είναι αντιστρεπτές και το μέσο ιδανικό αέριο λειτουργεί ανάμεσα σε δύο λουτρά θερμότητας, η μηχανή λέγεται μηχανή Carnot. Δηλαδή μηχανή Carnot ονομάζουμε μία θερμική μηχανή που λειτουργεί ανάμεσα σε δύο λουτρά θερμότητας και που χρησιμοποιεί ως μέσο το ιδανικό αέριο ενώ οι μεταβολές που παθαίνει είναι αντιστρεπτές. Μία τέτοια μηχανή ενώ είναι δυνατό να μελετηθεί θεωρητικά, δεν είναι δυνατό να κατασκευαστεί πρακτικά, αφού ούτε ιδανικά αέρια υπάρχουν αλλά ούτε και οι αντιστρεπτές μεταβολές είναι πρακτικά εφικτές.

## Οι μεταβολές μίας μηχανής Carnot

Ας προσπαθήσουμε να βρούμε τι είδους μεταβολές συμβαίνουν σε μία τέτοια μηχανή. Θα πρέπει αρχικά το αέριο μέσο να πάρει ένα ποσό θερμότητας  $Q_1$  από το ένα λουτρό θερμότητας. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο με μία ισόθερμη εκτόνωση, αφού λόγω του λουτρού θερμότητας η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Τώρα θα πρέπει η θερμοκρασία του αερίου μέσου από  $T_1$  να γίνει  $T_2$  χωρίς ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον, έτσι ώστε να το αέριο να αλληλεπιδράσει με το ψυχρό λουτρό θερμότητας. Η μείωση της θερμοκρασίας χωρίς ανταλλαγή θερμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία αδιαβατική εκτόνωση. Το αέριο τώρα πρέπει να αποδώσει ποσό θερμότητας  $Q_2$  στο ψυχρό λουτρό θερμότητας. Αυτό γίνεται με μία ισόθερμη συμπίεση. Τέλος για να κλείσει ο κύκλος πραγματοποιείται και μία αδιαβατική συμπίεση, ώστε το αέριο να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση.



## Η απόδοση μίας μηχανής Carnot

Αποδεικνύεται σχετικά εύκολα ότι σε μία μηχανή Carnot ισχύει ότι:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (4)$$

Έτσι η απόδοση μιας μηχανής Carnot όπως προκύπτει από τις (3) και (4) θα είναι

$$ac = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (5)$$

Παρατηρούμε ότι η απόδοση εξαρτάται αποκλειστικά από τις θερμοκρασίες των λουτρών θερμότητας. Δεν εξαρτάται ούτε από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μηχανής ούτε από το είδος του καυσίμου.

## Το θεώρημα Carnot

Το θεώρημα Carnot αναφέρει ότι η απόδοση της μηχανής Carnot είναι η μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη μηχανή λειτουργεί ανάμεσα στις θερμοκρασίες  $T_1$  και  $T_2$ . Το θεώρημα αυτό μπορεί να αποδειχθεί σχετικά εύκολα με τη βοήθεια του δεύτερου θερμοδυναμικού αξιώματος. **Η ύπαρξη αυτού του θεωρήματος δίνει όλη την αξία και χρησιμότητα της μελέτης της μηχανής Carnot** και δικαιολογεί γιατί μελετάμε μία τέτοια μηχανή, η οποία είναι εντελώς φανταστική και δεν μπορεί ποτέ να κατασκευαστεί.

Πράγματι με τη βοήθεια του θεωρήματος Carnot παίρνουμε μία εικόνα κατά πόσο μπορούμε να βελτιώσουμε την απόδοση μίας πραγματικής μηχανής. Ας γίνουμε πιο σαφείς μέσα από ένα παράδειγμα.

Ας πούμε ότι φτιάξαμε μία μηχανή και μετρήσαμε την απόδοσή της και τη βρήκαμε ίση με 42%. Στη συνέχεια μετράμε τη θερμοκρασία στο χώρο καύσης και στο περιβάλλον και υπολογίζουμε την απόδοση υποθέτοντας ότι η μηχανή λειτουργεί ως μηχανή Carnot. Έστω ότι βρίσκουμε την απόδοση από τη σχέση (5) ίση με 67%. Αυτός ο υπολογισμός μας πληροφορεί ότι η μηχανή που φτιάξαμε έχει αρκετά περιθώρια βελτίωσης. Αντίθετα αν από την (5) βρίσκαμε ότι η απόδοση είναι 45% αυτό θα σήμαινε ότι δεν θα είχαμε και πολλά περιθώρια να βελτιώσουμε την μηχανή μας, αφού θα είχαμε φθάσει πολύ κοντά στη μέγιστη θεωρητική της απόδοση.

## Και ένα μειονέκτημα της μηχανής Carnot

Όπως είπαμε η μηχανή Carnot έχει τη μεγαλύτερη απόδοση από οποιαδήποτε άλλη μηχανή που δουλεύει ανάμεσα στις ίδιες θερμοκρασίες χώρου καύσης και περιβάλλοντος. Η ισχύς όμως της μηχανής Carnot είναι μηδενική! Αφού για να είναι οι μεταβολές του αερίου αντιστρεπτές θα πρέπει να πραγματοποιούνται πολύ αργά. Έτσι ότι κερδίζουμε σε απόδοση το χάνουμε σε ισχύ.

## Υπάρχουν άλλες μηχανές εκτός των θερμικών;

Ο άνθρωπος εκτός των θερμικών μηχανών έφτιαξε και τις ηλεκτρικές μηχανές. Δηλαδή τους ηλεκτροκινητήρες. Οι ηλεκτρικές μηχανές έχουν το πλεονέκτημα να μην καίνε κάτι, οπότε δεν παράγουν καυσαέρια και ειδικότερα διοξείδιο του άνθρακα που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην κλιματική αλλαγή. Γι αυτό όλα τα μετρό του κόσμου λειτουργούν με ηλεκτροκινητήρες. Αν λειτουργούσαν με θερμικές μηχανές το διοξείδιο του άνθρακα που θα παραγόταν, επειδή έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος από τον αέρα, θα γέμιζε τις στοές και θα προκαλούσε ασφυξία στους ανθρώπους.

Η λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων βασίζεται στη δύναμη Laplace. Γι αυτό απαιτεί υψηλές εντάσεις ηλεκτρικών ρευμάτων και ισχυρά μαγνητικά πεδία. Οι θερμικές μηχανές για να δώσουν τη μέγιστη ισχύ πρέπει να έχουν μία συγκεκριμένη συχνότητα περιστροφής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του σασμάν, το οποίο με μία σειρά από γρανάζια πετυχαίνει να διατηρεί τη συχνότητα της μηχανής στις 3000 στροφές/λεπτό περίπου, ανεξάρτητα της ταχύτητας του αυτοκινήτου. Οι ηλεκτροκινητήρες όμως αποδίδουν το ίδιο καλά σε όλες τις συχνότητες και για αυτό το λόγο τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν χρειάζονται σασμάν και συμπλέκτη.

Οι μηχανές που έχει φτιάξει η φύση και με τις οποίες κινούνται όλοι οι ζωντανοί οργανισμοί, είναι μία άλλη κατηγορία μηχανών που δεν έχει μπορέσει ακόμη να μιμηθεί ο άνθρωπος.

Οι ζωικές μηχανές δεν είναι ούτε θερμικές μηχανές αφού για παράδειγμα ένα φίδι μπορεί και κινείται μολονότι είναι ψυχρόαιμο. Έχει δηλαδή την ίδια θερμοκρασία με το περιβάλλον. Άρα ακόμη και αν λειτουργούσε με τη μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή ως μηχανή Carnot, λόγω της σχέσης (5) θα είχε μηδενική απόδοση.

Αλλά ούτε και ηλεκτρικές μηχανές είναι, αφού στα ζώα δεν υπάρχουν ούτε μεγάλα ηλεκτρικά ρεύματα και ούτε και ισχυρά μαγνητικά πεδία. Στις ζωικές μηχανές έχουμε μία απ' ευθείας μετατροπή της χημικής ενέργειας σε κινητική χωρίς καύση και χωρίς ενδιάμεση μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το μέσον που χρησιμοποιούν δεν είναι αέριο! Το έργο παράγεται από τη μεταβολή του σχήματος διαφόρων πρωτεϊνών, κυρίως της ακτίνης και της μυοσίνης. Οι ζωικές μηχανές είναι ένα από τα πολλά μυστήρια της φύσης που δεν έχει ακόμα πλήρως ερμηνευτεί όπως έχει αναφέρει ο αείμνηστος Ηλία Prigogine ( βραβείο Νόμπελ Χημείας )



Δεν έχει ούτε πόδια ούτε ρόδες και όμως κινείται.  
Δεν είναι θερμική μηχανή αφού έχει ίδια θερμοκρασία με το περιβάλλον αλλά ούτε και ηλεκτρική αφού δεν έχει ισχυρά μαγνητικά πεδία και όμως κινείται

ΕΧΕΙ ΖΩΗ