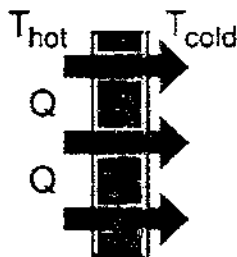


ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΩΝ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ  
ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

ΤΟΥ  
**ΚΑΛΑΦΑΤΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ**  
Α.Μ. 3663

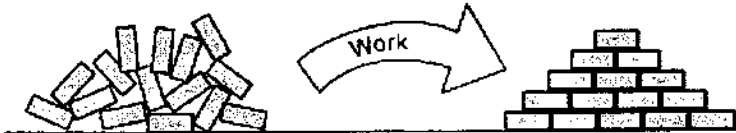


ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	7099
----------------------	------

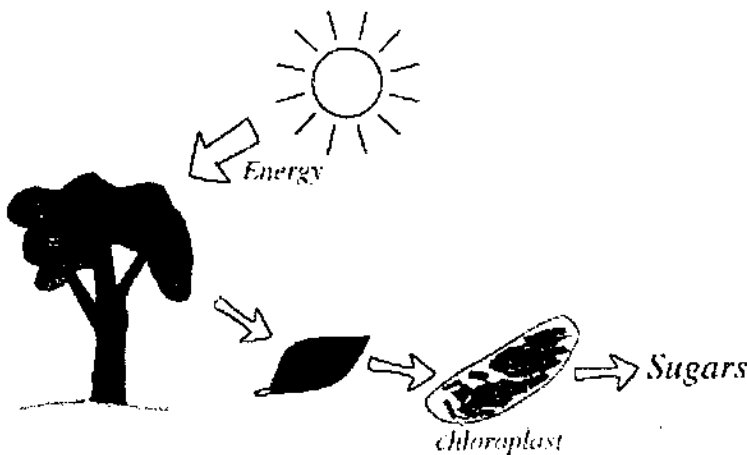
# Ενέργεια και Τάξη σε Βιολογικά Συστήματα

Η αρχή της εντροπίας και του δευτέρου νόμου της θερμοδυναμικής προτείνουν ότι το σύστημα προχωρεί υπό φυσιολογικές συνθήκες από την τάξη στην αταξία. Έτσι, πως τα βιολογικά συστήματα αναπτύσσονται και διατηρούν σε τέτοιο μεγάλο βαθμό την τάξη; Αποτελεί αυτό παραβίαση του δευτέρου νόμου της θερμοδυναμικής ;

Work is generally required to produce order out of disorder, so energy must be used to produce a highly ordered state.



Η τάξη μπορεί να παραχθεί μέσω δαπάνης της ενέργειας, και η τάξη συνεταιρισμένη με τον τρόπο ζωής πάνω στη γη παρέχεται από την ενέργεια του ήλιου .



Δεύτερος  
Νόμος  
της  
Θερμοδυναμικής

Αρχή  
Θερμικής  
Μηχανής

Για παράδειγμα, τα φυτά χρησιμοποιούν ενέργεια από τον ήλιο σε μικροσκοπικά ενεργειακά εργοστάσια που διαθέτουν τα οποία ονομάζονται χλωροπλάστες. Χρησιμοποιώντας χλωροφύλλη στην διαδικασία που ονομάζεται φωτοσύνθεση, μετατρέπουν την ενέργεια του ήλιου, σε αποθηκεύσιμη μορφή, σε κατάλληλα μόρια ζάχαρης . Με αυτόν τον τρόπο, ο άνθρακας και το νερό ενώνονται σε μια πιο άτακτη κατάσταση για να σχηματίσουν υψηλότερης τάξης μόρια ζάχαρης. ....

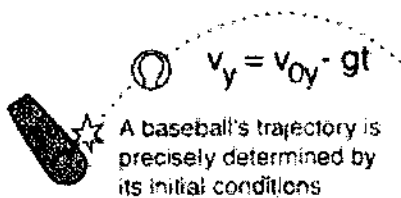
Στο ζωικό σύστημα υπάρχουν επίσης μικρές δομές εσωτερικά των κελιών που ονομάζονται μιτοχόνδρια τα οποία χρησιμοποιούν την ενέργεια που αποθηκεύεται στα μόρια της ζάχαρης από την τροφή για να σχηματίσουν υψηλότερης τάξης χημικές ενώσεις .

Ένα δέντρο μετατρέπει αταξία σε τάξη με λίγη βοήθεια από τον Ήλιο

Ποιοτικές διατυπώσεις του Δεύτερου Νόμου της Θερμοδυναμικής

# Μόρια και Μπάλες του Μπέιζ-μπολ

Η κίνηση των μπάλων του μπέιζ-μπολ μπορεί εύλογα να περιγραφεί από τους νόμους του Newton, αλλά η κίνηση των μορίων μέσα σε ένα αέριο δεν μπορεί. Δεν είναι ότι οι νόμοι του Newton δεν είναι τόσο καλοί για τα μόρια αέριων όπως είναι για τις μπάλες, αλλά είναι ότι δεν μπορούμε να είμαστε ακριβείς λόγω του αριθμού Avogadro τους και αναγκαζόμαστε να χρησιμοποιούμε τους μέσους όρους ή άλλες στατιστικές ιδιότητες της συλλογής των μορίων. Ενώ αυτό φαίνεται να μας καταδικάζει σε ανακριβείς και ακανόνιστες περιγραφές της φύσης τους, αυτή δεν είναι σίγουρα η περίπτωση. Οι στατιστικές των πολύ μεγάλων αριθμών γεγονότων δίνουν μια ακριβή περιγραφή της συλλογικής συμπεριφοράς τους.



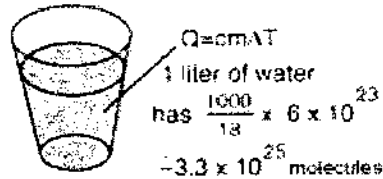
A baseball's trajectory is precisely determined by its initial conditions

$$\left\langle \frac{1}{2} m v^2 \right\rangle = \frac{3}{2} kT$$

$\frac{PV}{T} = nR$  - 29 gms of air has  $6 \times 10^{23}$  molecules

at 300K,  $\frac{3}{2} kT = 0.04 \text{ eV}$

We may not be able to describe the trajectories of molecules in air like baseballs, but temperature and pressure can be measured precisely. They are statistical, collective properties.



If a water molecule had 0.04 eV of translational kinetic energy, its speed would be 645 m/s.

Αρχή  
Εσωτερικής  
Ενέργειας

Το πεδίο της θερμοδυναμικής περιλαμβάνει περιγραφές από φαινόμενα τα οποία είναι πολύ μικρά για μας να τα δούμε. Αυτές οι περιγραφές είναι στατιστικής φύσης δεδομένου ότι εξετάζουν τους μέσους όρους πέρα από τους απέραντους αριθμούς μορίων. Αυτό περιλαμβάνει τις έννοιες της εσωτερικής ενέργειας και της θερμοκρασίας. Παράγει τις σχέσεις όπως τον νόμο των ιδανικών αερίων, την ισοκατανομή της ενέργειας, και την ειδική θερμότητα οι οποίες μας επιτρέπουν να κάνουμε ακριβείς προβλέψεις για τη συλλογική συμπεριφορά του θέματος. Δεν μπορείτε να περιγράψετε ακριβώς ένα μόριο μόνο του όπως μπορείτε με μια μπάλα του μπέιζ-μπολ, αλλά η συλλογική συμπεριφορά μιας ομάδας μορίων καθορίζεται καλά.

Θερμοκρασία και Κινητική  
Ενέργεια

Ισοκατανομή της  
Ενέργειας

Θερμική  
Ενέργεια

# Ειδική Θερμότητα

Η ειδική θερμότητα είναι το ποσό της θερμότητας ανά μονάδα μάζας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία κατά έναν βαθμό Κελσίου. Η σχέση μεταξύ της μεταβολής της θερμότητας και της θερμοκρασίας εκφράζεται συνήθως στη μορφή που παρουσιάζεται κατωτέρω όπου το  $c$  είναι η ειδική θερμότητα. Η σχέση δεν ισχύει εάν συναντάται η αλλαγή φάσης, επειδή η θερμότητα που προστίθεται ή αφαιρείται κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής φάσης δεν αλλάζει τη θερμοκρασία.

$$Q = cm\Delta T$$

heat added                  specific heat    mass    change in temperature

Η ειδική θερμότητα του νερού είναι 1 θερμίδα/ γραμμάριο  $^{\circ}\text{C}$  = 4.186 τζάουλ/ γραμμάριο  $^{\circ}\text{C}$  και είναι υψηλότερη από οποιαδήποτε άλλη κοινή ουσία. Κατά συνέπεια, το νερό διαδραματίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην ρύθμιση της θερμοκρασίας. Η ειδική θερμότητα ανά γραμμάριο για το νερό είναι πολύ υψηλότερη από αυτή ενός μετάλλου, όπως περιγράφεται στο παράδειγμα νερό-μέταλλο. Για περισσότερους λόγους, είναι σημαντικό να συγκριθούν οι μοριακές ειδικές θερμότητες των ουσιών.

Οι μοριακές ειδικές θερμότητες των περισσότερων στερεών σε θερμοκρασία δωματίου και άνω είναι σχεδόν σταθερές, σε συμφωνία με τον Νόμο των Dulong και Petit. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες οι ειδικές θερμότητες πέφτουν όταν οι κβαντικές διαδικασίες γίνονται σημαντικές. Η συμπεριφορά της χαμηλής θερμοκρασίας περιγράφεται από το Einstein-Debye μοντέλο της ειδικής θερμότητας.

Πίνακας    Ειδικές Θερμότητες των αερίων    Ειδικές Θερμότητες των υγρών

Υπολογισμός

# Ειδική Θερμότητα

Η ειδική θερμότητα είναι το ποσό της θερμότητας ανά μονάδα μάζας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία κατά έναν βαθμό Κελσίου. Η σχέση μεταξύ της αλλαγής της θερμότητας και της θερμοκρασίας εκφράζεται συνήθως στη μορφή που παρουσιάζεται κατωτέρω όπου το  $c$  είναι η ειδική θερμότητα. Η σχέση δεν ισχύει εάν συναντάται η αλλαγή φάσης, επειδή η θερμότητα που προστίθεται ή αφαιρείται κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής φάσης δεν αλλάζει τη θερμοκρασία.

$$Q = cm\Delta T$$

$$\text{Θερμότητα που προστίθεται} = \text{ειδική θερμότητα} \times \text{μάζα} \times (t_{\text{τελικό}} - t_{\text{αρχικό}})$$

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

Εισάγετε τα απαραίτητα στοιχεία και χτυπήστε έπειτα στο ενεργό κείμενο ανωτέρω για την ποσότητα που επιθυμείτε να υπολογίσετε.

Για μια μάζα  $m = \sqrt{\quad}$  gm =  $\sqrt{\quad}$  kg

Με ειδική θερμότητα  $c = \sqrt{\quad}$  cal/ gm°C =  $\sqrt{\quad}$  joule/ gm°C,

αρχική θερμοκρασία  $T_i = \sqrt{\quad}$  °C =  $\sqrt{\quad}$  K =  $\sqrt{\quad}$  °F

και τελική θερμοκρασία  $T_f = \sqrt{\quad}$  °C =  $\sqrt{\quad}$  K =  $\sqrt{\quad}$  °F,

το ποσό της θερμότητας που προστίθεται είναι

$$Q = \sqrt{\quad} \text{ calories} = \sqrt{\quad} \text{ kcal} = \sqrt{\quad} \times 10^{\sqrt{\quad}} \text{ calories.}$$

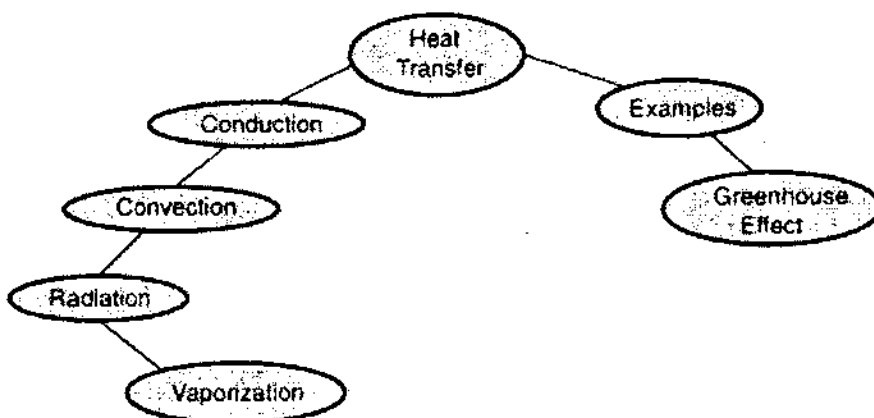
$$Q = \sqrt{\quad} \text{ joules} = \sqrt{\quad} \times 10^{\sqrt{\quad}} \text{ joules.}$$

Σημείωση υπολογισμού: Οι μετατροπές των μονάδων θα εκτελεσθούν όταν εισάγετε τα στοιχεία, αλλά οι παράμετροι δεν θα αναγκαστούν να είναι συνεπείς έως ότου χτυπήσετε πάνω στην ποσότητα που επιθυμείτε να υπολογίσετε. Οι προκαθορισμένες τιμές θα εισαχθούν για τις απροσδιόριστες παραμέτρους.

Πίνακας Συζήτηση της ειδικής θερμότητας

# Μετάδοση Θερμότητας

Η μετάδοση θερμότητας είναι κανονικά από ένα υψηλής θερμοκρασίας αντικείμενο προς ένα χαμηλότερης θερμοκρασίας αντικείμενο. Η μετάδοση θερμότητας μεταβάλλει την εσωτερική ενέργεια και από τα δύο συστήματα που συμμετέχουν σύμφωνα με τον Πρώτο Νόμο της Θερμοδυναμικής.



Μεταφορά θερμότητας από μια κρύα σε μια θερμότερη περιοχή

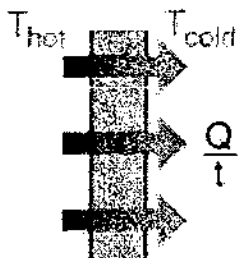
## Θερμική Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα είναι μετάδοση θερμότητας με τη βοήθεια της μοριακής αναταραχής μέσα σε ένα υλικό χωρίς οποιαδήποτε κίνηση του υλικού συνολικά. Εάν ένα άκρο μιας μεταλλική ράβδου είναι σε μια υψηλότερη θερμοκρασία, τότε ενέργεια θα μεταφερθεί από τη ράβδο προς το πιο κρύο άκρο επειδή τα μόρια με υψηλότερη ταχύτητα θα συγκρουστούν με τα πιο αργά με μια καθαρή μεταφορά ενέργειας στα πιο αργά. Για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο επίπεδων επιφανειών, όπως η απώλεια θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων ενός σπιτιού, ο ρυθμός μεταφοράς της θερμικής αγωγιμότητας είναι :

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

$$\frac{Q}{t} = \frac{\kappa A (T_{hot} - T_{cold})}{d} \quad \text{Υπολογισμός}$$



$Q$  = θερμότητα που μεταφέρεται στο χρόνο  $t$

$\kappa$  = θερμική αγωγιμότητα του εμποδίου

$A$  = περιοχή

$T$  = θερμοκρασία

$d$  = πάχος εμποδίου

Πίνακας θερμικής αγωγιμότητας

Συζήτηση της θερμικής αγωγιμότητας

Απώλεια οικιακής θερμότητας από αγωγιμότητα

## Μετάδοση Θερμότητας με Μεταγωγή

Η μεταγωγή είναι μετάδοση θερμότητας από την μαζική κίνηση ενός ρευστού όπως ο αέρας ή το νερό όταν το ζεσταμένο ρευστό αναγκάζεται να απομακρυνθεί από την πηγή θερμότητας, φέροντας την ενέργεια μαζί του. Η μεταγωγή επάνω από μια καυτή επιφάνεια εμφανίζεται επειδή ο καυτός αέρας εκτονώνεται, γίνεται λιγότερο πυκνός, και ανυψώνεται ( βλέπε Νόμος των Ιδανικών Αερίων). Το καυτό νερό είναι επιπλέον λιγότερο πυκνό από το κρύο νερό και ανυψώνεται (ανεβαίνει), προκαλώντας ρεύματα που μεταφέρουν ενέργεια .

Αρχή μεταφοράς θερμότητας

Παραδείγματα μεταφοράς θερμότητας

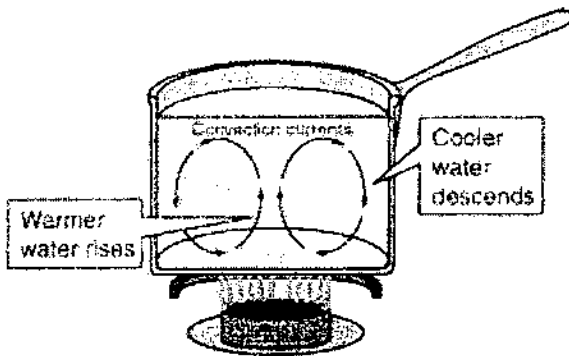
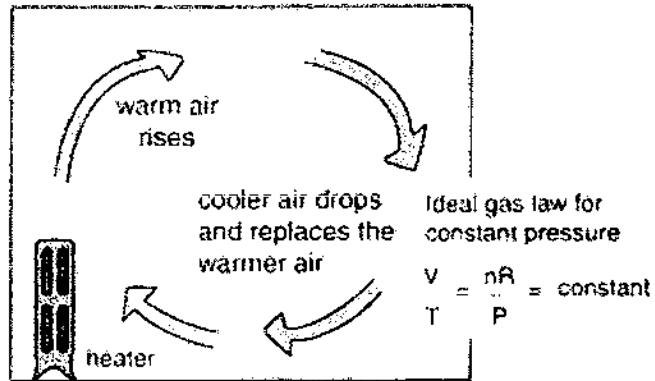


If volume increases, then density decreases, making it buoyant.

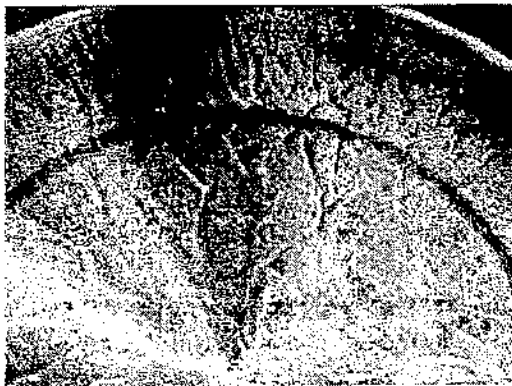
$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\uparrow V = \text{constant}$   
 $\uparrow T$

If the temperature of a given mass of air increases, the volume must increase by the same factor.

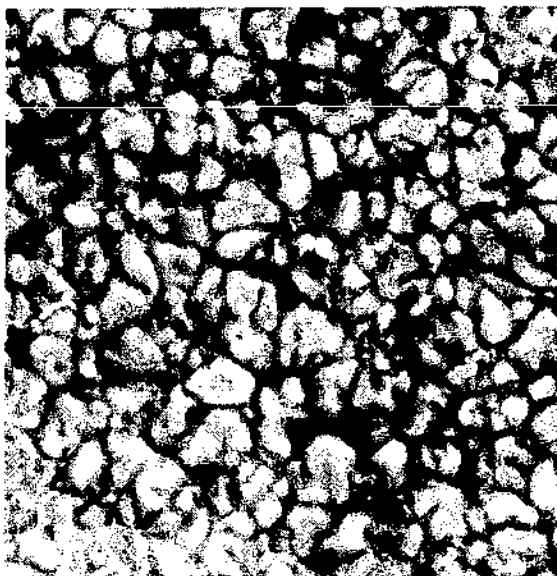


Η μεταγωγή μπορεί επίσης να οδηγήσει στην κυκλοφορία σε ένα υγρό, όπως στη θέρμανση ενός δοχείου νερού πάνω από μια φλόγα. Το θερμαινόμενο νερό εκτονώνεται και γίνεται πιο επιπλέον (ελαφρύ). Το πιο δροσερό, πυκνότερο νερό κοντά στην επιφάνεια κατεβαίνει και τα σχέδια της κυκλοφορίας μπορούν να δειχθούν, αν και δεν θα είναι έτσι ακριβώς όπως προτείνονται, στο σχέδιο



Τα κύτταρα μεταφοράς είναι ορατά στο θερμαινόμενο λάδι μαγειρέματος στο δοχείο αριστερά. Η θέρμανση του λαδιού προκαλεί αλλαγές στο δείκτη της διάθλασης του λαδιού, καθιστώντας τα όρια των κυττάρων ορατά. Τα διαμορφωμένα σχέδια κυκλοφορίας, και πιθανώς οι ορατές δομές τύπου τοίχου είναι τα όρια μεταξύ των σχεδίων κυκλοφορίας.

Η μεταγωγή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις μεταφορές της ενέργειας από το κέντρο του ήλιου στην επιφάνεια, και στις μετακινήσεις του καυτού μάγματος κάτω από την επιφάνεια της γης. Η ορατή επιφάνεια του ήλιου (η φωτόσφαιρα) έχει μια κοκκώδη εμφάνιση με μια τυπική διάσταση ενός κόκκου να είναι 1000 χιλιόμετρα. Η εικόνα στα δεξιά είναι από τον Ηλιακό Ιστοχώρο Φυσικής της NASA και αποδίδεται στον Γ. Scharmer και το Σουηδικό κενό Ηλιακό Τηλεσκόπιο. Οι κόκκοι περιγράφονται από τις ηλιακές κυψέλες μεταγωγής θερμότητας οι οποίες μεταφέρουν θερμότητα από το εσωτερικό του ήλιου στην επιφάνεια.



Στη συνηθισμένη μετάδοση θερμότητας στη γη, είναι δύσκολο να ποσολογηθούν τα αποτελέσματα της μεταγωγής δεδομένου ότι εξαρτάται εγγενώς από τις μικρές ανομοιομορφίες σε ένα ειδήλλως αρκετά ομοιογενές μέσο. Μοντελοποιώντας τα πράγματα όπως στην ψύξη του ανθρωπίνου σώματος, συνήθως το συνοψίζουμε με την αγωγή.

# Αγωγή Θερμότητας

Η μετάδοση θερμότητας με αγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσει την απώλεια θερμότητας μέσω ενός τοίχου. Για ένα τοίχωμα με σταθερό πάχος, ο ρυθμός απώλειας θερμότητας δίνεται από:

$$\frac{Q}{t} = \frac{\kappa A (T_{hot} - T_{cold})}{d}$$

## Ενεργός Τύπος

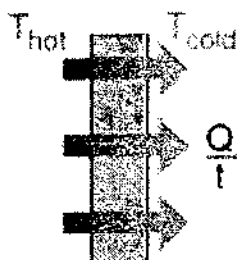
$$\text{Αγωγή Θερμότητας } Q / \text{Χρόνος} = (\text{Θερμική αγωγιμότητα}) \times (\text{Περιοχή}) \times (\text{Τζεστό} - \text{Τκρύο}) / \text{Πυκνότητα}$$

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

Εισάγετε στοιχεία κατωτέρω και έπειτα 'χτυπήστε' πάνω στην ποσότητα που επιθυμείτε να υπολογίσετε στον ανωτέρω ενεργό τύπο.

Προκαθορισμένες τιμές θα εισαχθούν για να αποφευχθούν μηδενικές τιμές για τις παραμέτρους, αλλά όλες οι τιμές μπορούν να αλλάξουν.

Σημείωση! Οι τιμές δεν θα είναι απαραίτητα σύμφωνες έως ότου εισάγετε κάτι στον ενεργό τύπο για να επιλέξετε έναν υπολογισμό.



κάντε «κλικ» στην ποσότητα που επιθυμείτε να υπολογίσετε στον ανωτέρω ενεργό τύπο αφού έχετε εισάγει τα δεδομένα.

Για μια περιοχή επιφάνειας ενός τοίχου  $A = \sqrt{\quad} \text{ m}^2 = \sqrt{\quad} \text{ ft}^2$

Και πάχος  $d = \sqrt{\quad} \text{ cm} = \sqrt{\quad} \text{ inches}$ ,

Θερμική αγωγιμότητα  $k = \sqrt{\quad} \text{ W/m}^\circ\text{C} = \sqrt{\quad} \text{ BTU/hr ft}^\circ\text{F}$ ,

Τζεστό =  $\sqrt{\quad} \text{ }^\circ\text{C} = \sqrt{\quad} \text{ }^\circ\text{F}$ ,

Τκρύο =  $\sqrt{\quad} \text{ }^\circ\text{C} = \sqrt{\quad} \text{ }^\circ\text{F}$ ,

Τότε η αγωγή του ρυθμού απώλειας θερμότητας είναι :

Αρχή μεταφοράς θερμότητας

Παραδείγματα μεταφοράς θερμότητας

$$Q/t = \boxed{\phantom{000}} \text{ watts} =$$
$$\boxed{\phantom{000}} \text{ BTU/hr.}$$

---

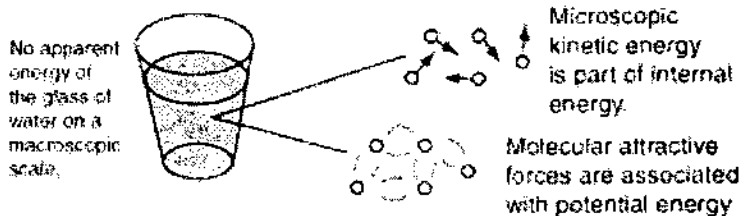
Πίνακας θερμικής αγωγιμότητας

Συζήτηση για την θερμική αγωγιμότητα

# Εσωτερική Ενέργεια

Η Εσωτερική ενέργεια καθορίζεται σαν την ενέργεια που σχετίζεται με την τυχαία, διαταραγμένη κίνηση των μορίων. Είναι χωρισμένη στην μακροσκοπική διαταραγμένη ενέργεια, που συνδέεται με την κίνηση των αντικειμένων, αναφέρεται στην αόρατη μικροσκοπική ενέργεια, στην ατομική και μοριακή κλίμακα. Παραδείγματος χάριν, ένα ποτήρι με νερό σε θερμοκρασία δωματίου τοποθετημένο πάνω σε ένα τραπέζι δεν έχει καμία προφανή ενέργεια, είτε δυναμική ή κινητική. Αλλά στην μικροσκοπική κλίμακα είναι μια συνταραγμένη μάζα μορίων με υψηλές ταχύτητες που ταξιδεύουν εκατοντάδες μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Εάν το νερό πεταχτεί πέρα από το δωμάτιο, θα το επιβάλλουμε έτσι σε μια διαταραγμένη κίνηση μεγάλης κλίμακας αυτή η μικροσκοπική ενέργεια δεν θα άλλαζε απαραίτητα στο νερό συνολικά.

Does a glass of water sitting on a table have any energy?



Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

**U** είναι το πιο κοινό σύμβολο που χρησιμοποιείται για την Εσωτερική Ενέργεια.

Σχετικές ενεργειακές ποσότητες που είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στη χημική θερμοδυναμική είναι η ενθαλπία, η ελεύθερη ενέργεια του Helmholtz, και η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs.

Θερμοκρασία και Κινητική  
ενέργεια

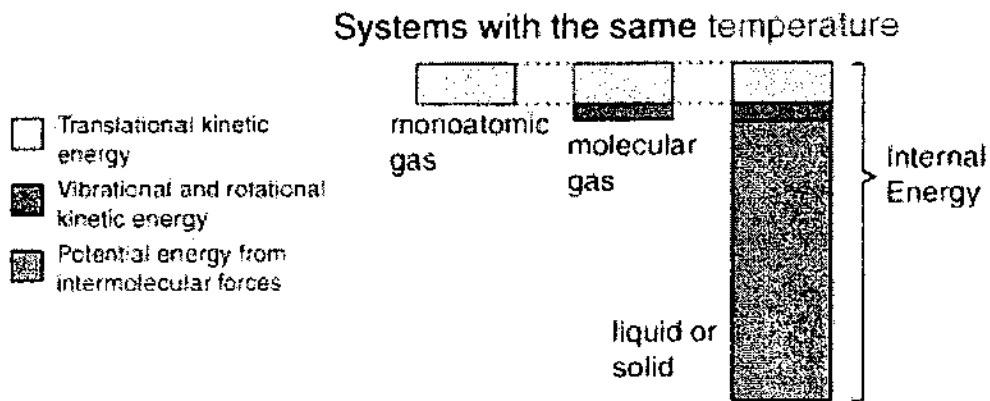
Ισοκατανομή της  
ενέργειας

Θερμική  
ενέργεια

Μπορεί η τροχιά ενός μορίου να προβλεφθεί όπως αυτή μιας μπάλας του μπέιζ-μπολ;

# Μικροσκοπική Ενέργεια

Η Εσωτερική ενέργεια περικλείει ενέργεια και σε μικροσκοπική κλίμακα. Για ένα ιδανικό μονοατομικό αέριο, αυτή είναι η μετατρέπόμενη κινητική ενέργεια της γραμμικής κίνησης των ατόμων τύπου "σκληρών σφαιρών" και η συμπεριφορά του συστήματος περιγράφεται καλά από την κινητική θεωρία. Εντούτοις, για τα πολυατομικά αέρια υπάρχει η περιστροφική και η παλμική κινητική ενέργεια επίσης. Κατόπιν στα υγρά και τα στερεά αντικείμενα υπάρχει πιθανή ενέργεια που συνδέεται με τις διαμοριακές ελκυστικές δυνάμεις. Μια απλουστευμένη απεικόνιση των συνεισφορών στην εσωτερική ενέργεια μπορεί να είναι χρήσιμη στην κατανόηση της αλλαγής φάσης και σε άλλα φαινόμενα που περιλαμβάνουν την εσωτερική ενέργεια.



Τι μετρείται από την  
θερμοκρασία:

Ενέργεια στο θερμό  
νερό

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

# Παράδειγμα Εσωτερικής Ενέργειας

What is the same and what is different?

1 gram of water at 0°C



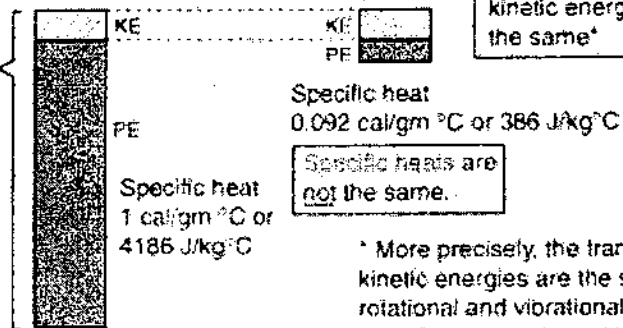
1 gram of copper at 0°C



The same temperature implies that the average molecular kinetic energy is the same\*

The internal energy is not the same.

Why is the specific heat of water more than 10 times that of copper?!



\* More precisely, the translational kinetic energies are the same. The rotational and vibrational kinetic energies are neglected in this simplified illustration.

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

Όταν το δείγμα του νερού και του χαλκού θερμαίνεται μαζί από 1 C, η αύξηση της κινητικής ενέργειας είναι η ίδια, δεδομένου ότι αυτή είναι αυτό που η θερμοκρασία μετρά. Αλλά για να επιτευχθεί αυτή η αύξηση στο νερό, μια πολύ μεγαλύτερη ανάλογη ενέργεια πρέπει να προστεθεί στην πιθανή ενεργειακή μερίδα της εσωτερικής ενέργειας. Έτσι η συνολική ενέργεια που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία του νερού είναι πολύ μεγαλύτερη, δηλαδή η ειδική θερμότητά του είναι πολύ μεγαλύτερη.

Θερμοκρασία και  
Κινητική ενέργεια

Ειδική  
Θερμότητα

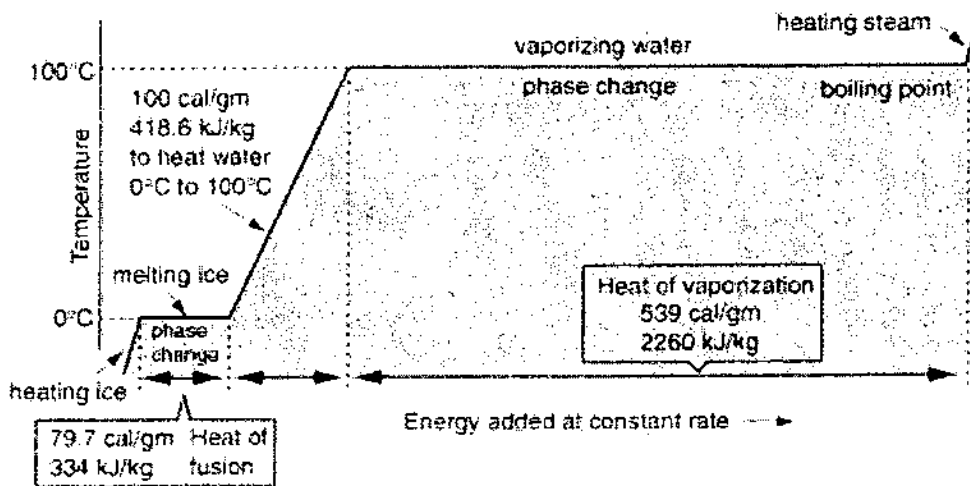
Εσωτερική  
Ενέργεια

Μικροσκοπική  
Ενέργεια

Νερό

# Αλλαγή Φάσης

Οι μεταβάσεις μεταξύ των στερεών, των υγρών και των αερίων φάσεων περιλαμβάνουν τυπικά μεγάλα ποσά ενέργειας έναντι της ειδικής θερμότητας. Εάν θερμότητα προστεθεί σε σταθερό ποσοστό σε μια μάζα πάγου για να μεταβεί μέσω της αλλαγής φάσης του σε υγρό νερό και έπειτα σε ατμό, οι ενέργειες που απαιτούνται για να ολοκληρώσουν την αλλαγή φάσης (αποκαλούνται λανθάνον θερμότητα τήξης και λανθάνον θερμότητα εξάτμισης) θα οδηγούσαν σε 'οροπέδια' της θερμοκρασία σε μια γραφική παράσταση συναρτήσεως του χρόνου. Η γραφική παράσταση κατωτέρω θεωρεί ότι η πίεση είναι μια κανονική ατμόσφαιρα.



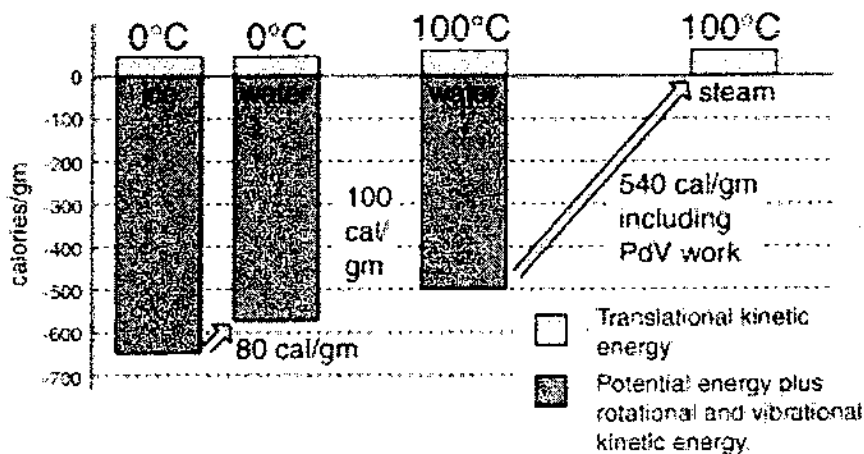
Αρχή  
αλλαγής  
φάσης

Θερμοκρασιακή κλίμακα | Αλλαγή φάσης νερού | Σημείο βρασμού

Νερό



## Ενέργεια που συμμετέχει στην Αλλαγή Φάσης του Νερού



Αρχή  
αλλαγής  
φάσης

Το στοιχείο για την αλλαγή φάσης εξάτμισης θεωρεί ότι η πίεση είναι μια κανονική ατμόσφαιρα.

Γιατί η πιθανή ενέργεια είναι αρνητική;

Θερμότητα τήξης

Τμήμα της ενέργειας

Θερμότητα εξάτμισης

Νερό

## Γιατί είναι η πιθανή ενέργεια αρνητική

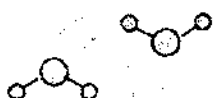
Στη συζήτηση της ενέργειας της αλλαγής φάσης του νερού, διαπιστώσαμε ότι η πιθανή ενέργεια αντιμετωπίζεται ως αρνητική ποσότητα. Μια αναλογία με ένα μηχανικό σύστημα με την πιθανή ενέργεια βαρύτητας και την κινητική ενέργεια μπορεί να είναι χρήσιμη στην κατανόηση της λογικής μιας αρνητικής ενεργειακής ποσότητας. Είστε πάντα ελεύθεροι να επιλέξετε το μηδέν από την πιθανή ενέργεια, και φαίνεται λογικό να επιλεγεί το μηδέν από την πιθανή ενέργεια έτσι ώστε ένα ακίνητο ελεύθερο μόριο να έχει μηδενική ενέργεια. Ένα συνδεδεμένο ακίνητο μόριο έπειτα έχει αρνητική πιθανή ενέργεια.

Αρχή  
αλλαγής  
φάσης

A marble sits on a table with zero mechanical energy - that is, its kinetic energy is zero and, being supported, its potential energy is also zero.

If the marble now tips over the edge and rolls down into the depression, it will have negative PE, positive KE and the total mechanical energy will still be zero.

But if the marble is stopped at the bottom of the depression, it will have just the negative potential energy and will be trapped in a "bound state".



Particles in bound states are said to have negative energy compared to free particles.

The intermolecular attractive forces between water molecules hold them together in the liquid or solid state. This means they have negative potential energy with respect to free molecules, and that the negative potential energy exceeds the positive kinetic energy so that they are in a negative energy "bound state".

Positive kinetic energy of molecular motion

Zero energy

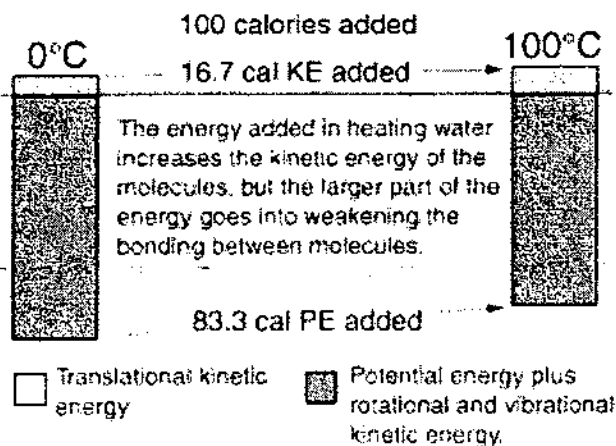
Negative potential energy from intermolecular attractive forces.



### Αλλαγή φάσης νερού

## Λεπτομέρειες της θέρμανσης Νερού

Είναι γνωστό ότι 100 θερμίδες (calories) ενέργειας πρέπει να προσδοθούν για να αυξήσουν τη θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού από τους 0 σε 100C. Μέρος εκείνης της ενέργειας αυξάνει την κινητική ενέργεια των μορίων, και ένα άλλο μέρος προστίθεται στην πιθανή ενέργεια.



Τα μεγέθη των φραγμών που αντιπροσωπεύουν την κινητική ενέργεια των μορίων στους 0C και 100C παρέχουν μια οπτική απεικόνιση της έννοιας της θερμοκρασίας και της φύσης της απόλυτης ή της θερμοκρασιακής κλίμακας του Kelvin. Από τον καθορισμό της κινητικής θερμοκρασίας, το μέγεθος του φραγμού φαίνεται να είναι ανάλογο προς τη θερμοκρασία, και οι αναλογίες των υψών

Αρχή αλλαγής φάσης

των φραγμών της κινητικής ενέργειας είναι η αναλογία των θερμοκρασιών. Αλλά η κινητική θερμοκρασία είναι εγγενώς η απόλυτη θερμοκρασία, έτσι ώστε η αναλογία των τιμών των φραγμών είναι 373K/273K. Έτσι η απόλυτη θερμοκρασία είναι πραγματικά ανάλογη προς την κινητική ενέργεια των μορίων που μετατρέπεται, ενώ οι θερμοκρασίες Κελσίου επιλέγονται ακριβώς για πιο ευκολία.

Αλλαγή φάσης  
Νερού

Περισσότερες λεπτομέρειες για την ενέργεια που μετατρέπεται

Νερό

## Ενεργειακές λεπτομέρειες που αφορούν τη θέρμανση του νερού

Στην διαδικασία της θέρμανσης του νερού από τους 100 C, 100 θερμίδες της ενέργειας πρέπει να προσδοθούν. Μέρος εκείνης της ενέργειας αυξάνει την κινητική ενέργεια των μορίων, και ένα άλλο μέρος προστίθεται στην πιθανή ενέργεια. Για να αξιολογήσουν το ποσό που προστίθεται στην κινητική ενέργεια, οι μοριακές ταχύτητες στις δύο θερμοκρασίες μπορούν να αξιολογηθούν με την κατανομή ταχύτητας του Boltzmann.

$$v_{rms} = 615 \text{ m/sec at } 0^\circ\text{C for H}_2\text{O}$$

$$\text{K.E. /mole} = \left(\frac{1}{2}\right)(18 \text{ amu/molecule})(615 \text{ m/sec})^2 \\ \times (6.02 \times 10^{23} \text{ molecules/mole})(1.66 \times 10^{-27} \text{ kg/amu})$$

$$\text{K.E./mole} = 3400 \text{ J/mole} = 45 \text{ cal/gm at } 0^\circ\text{C}$$

At 100°C the corresponding translational K.E. is:

$$45 \text{ cal/gm} \times \frac{373\text{K}}{273\text{K}} = 61.7 \text{ cal/gm}$$

Αρχή  
αλλαγής  
φάσης

Το καθαρό κέρδος στην κινητική ενέργεια είναι έπειτα 16,7 θερμίδες/γραμμάριο όταν θερμαίνεται το νερό από τους 0 στους 100C. Το υπόλοιπο της ενέργειας πηγαίνει στην αποδυνάμωση των ελκυστικών δυνάμεων μεταξύ

των μορίων του νερού. Αυτή η αποδυνάμωση των διαμοριακών δυνάμεων φανερώνεται στη μείωση της έντασης επιφάνειας του νερού καθώς αυτό θερμαίνεται.

Στο στάδιο της εξάτμισης του νερού, ένα μεγάλο ποσό ενέργειας πρέπει να προσδοθεί για να υπερνικήσει τις υπόλοιπες συνεκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων και ένα πρόσθετο ποσό ενέργειας γίνεται PdV έργο για να εκτονωθεί το αέριο από τον πολύ μικρό υγρό όγκο του στον όγκο που καταλαμβάνεται από τον προκύπτοντα ατμό.

PdV work during vaporization at 100°C:

$$\frac{(1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(22.4 \times 373/273 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{mole})}{(18 \text{ gm/mole})(10^6 \text{ cm}^3/\text{m}^3)}$$

$$= 172 \text{ J/gm} = 41 \text{ cal/gm}$$

Εάν η θερμότητα εξάτμισης του νερού στους 100°C είναι 539 θερμίδες, τότε αφαιρώντας 41 θερμίδες του τμήματος έργου, η πραγματική ενέργεια των συνδέσεων των μορίων νερού γίνεται : 539-41 = 498 θερμίδες.

## Γιατί η θερμότητα εξάτμισης είναι περισσότερη στη θερμοκρασία σώματος;

Ένα ενδιαφέρον τυπικό γνώρισμα της διαδικασίας της ψύξης του ανθρωπίνου σώματος από εξάτμιση είναι ότι η θερμότητα που εξάγεται από την εξάτμιση ενός γραμμαρίου διαπνοής από το ανθρώπινο δέρμα σε θερμοκρασία σώματος (37C) αναφέρεται στα βιβλία φυσιολογίας ως 580 θερμίδες/gm παρά τις ονομαστικές 540 θερμίδες/gm στο κανονικό σημείο βρασμού. Η ερώτηση είναι, γιατί η θερμότητα είναι μεγαλύτερη στη θερμοκρασία σώματος;

Το κύριο μέρος της απάντησης είναι ότι η ενέργεια των συνδέσεων των μορίων νερού είναι μεγαλύτερη σε αυτή τη χαμηλότερη θερμοκρασία, και επομένως λαμβάνει περισσότερη ενέργεια για να τα διασπάσει χώρια στην αέρια κατάσταση. Η μεταβολή στη θερμότητα εξάτμισης μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση χρησιμοποιώντας ότι ξέρουμε από την ειδική θερμότητα του νερού, 1 calorie/gm °C. Παίρνει 37 θερμίδες για να θερμάνει ένα γραμμάριο νερού από τους 0°C στους 37°C, αλλά η μεταβολή στην κινητική ενέργεια είναι πολύ μικρότερη από αυτή :

$$\text{K.E./mole} = 3400 \text{ J/mole} = 45 \text{ cal/gm at } 0^\circ\text{C}$$

At 37°C the corresponding translational K.E. is:

$$45 \text{ cal/gm} \times \frac{310\text{K}}{273\text{K}} = 51.1 \text{ cal/gm}$$

The energy contributed to weakening the bonds is then 37-6.1 = 30.9 cal

Παρουσιάστηκε πιο πάνω ότι η κινητική ενέργεια των μορίων νερού

αυξάνεται κατά  $61,7 - 45 = 16,7$  θερμίδες/gm όταν θερμαίνεται το νερό από τους 0C σε 100C και γνωρίζουμε ότι λαμβάνει 100 θερμίδες για να γίνει αυτή η θέρμανση. Επομένως η συμβολή στην αποδυνάμωση των δεσμών των μορίων του νερού είναι 83,3 θερμίδες/gm. Χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμα για το νερό στους 37C είναι εμφανές ότι 52,4 θερμίδες της πρόσθετης ενέργειας πρέπει να παρασχεθούν στους 37C για να ατμοποιηθεί το νερό.

Υπάρχει ένα πρόσθετο στοιχείο στη διαμόρφωση της θερμότητας εξάτμισης στη θερμοκρασία σώματος – το έργο PdV που απαιτείται για να διαστείλει το νερό στην αέρια μορφή του είναι ελαφρώς λιγότερο στους 37C. Αναλογικά με τον υπολογισμό του έργου ανωτέρω, εκείνο το έργο υπολογίζεται και είναι 34,2 θερμίδες/gm, 6,8 θερμίδες/gm λιγότερο απ' ό,τι στους 100°C.

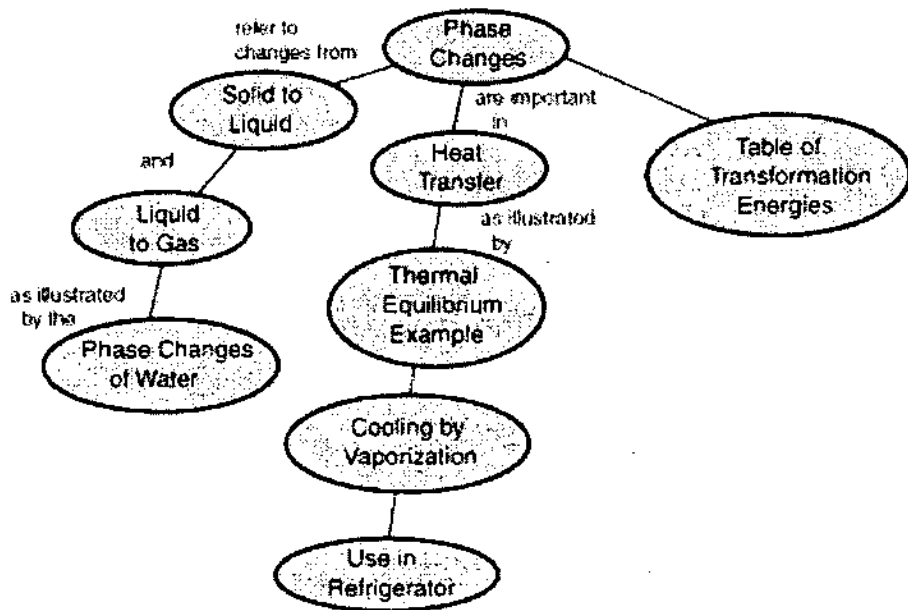
Αυτό το πρότυπο προτείνει έπειτα μια θερμότητα εξάτμισης στους 37°C:

$$\text{Θερμότητα εξάτμισης της θερμοκρασίας σώματος} = 539 \text{ cal/gm} + 52.4 \text{ cal/gm} - 6.8 \text{ cal/gm} = 585 \text{ cal/gm}.$$

Έτσι αυτό το απλό πρότυπο συμφωνεί αρκετά καλά με την παράθεση 580 cal/gm.

Αλλαγή φάσης Νερού

Νερό

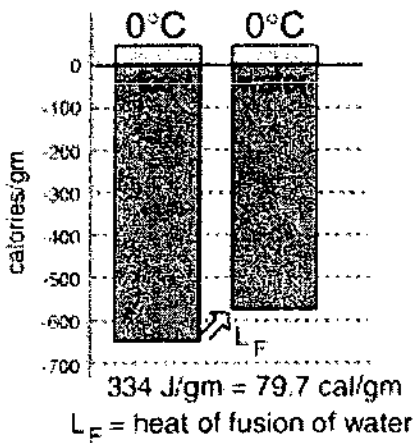


Κατάθλιψη του σημείου τήξης ενός διαλυμένου υλικού

Ανύψωση του σημείου βρασμού ενός διαλυμένου υλικού

P-V-T επιφάνεια

## Θερμότητα Τήξης



Η ενέργεια που απαιτείται για να αλλάξει ένα γραμμάριο μιας ουσίας από την στερεή στην υγρή κατάσταση, χωρίς μεταβολή στη θερμοκρασία της, καλείται συνήθως "θερμότητα τήξης" αυτής της ουσίας. Αυτή η ενέργεια διαχωρίζει τους στερεούς δεσμούς, αλλά αφήνει ένα σημαντικό ποσό ενέργειας που είναι συνδεδεμένο με τις διαμοριακές δυνάμεις της υγρής κατάστασης.

Αρχή  
αλλαγής  
φάσης

Αλλαγή φάσης  
Νερού

Πίνακας της θερμότητας  
τήξης

Μέτρηση Θερμότητας  
τήξης

Η κατάθλιψη του σημείου τήξης ενός λιωμένου υλικού

Νερό

## Μέτρηση Θερμότητας Τήξης

I always have trouble remembering whether wet ice drives the experimental value of  $L_F$  up or down - the following shows that it is driven DOWN.

Add ice to  
water,  
measure  
temperature  
change



$$m_{ice} L_F^* + sm_{ice} T_F = sm_{water}(T_i - T_F)$$

$$L_F^* = \frac{sm_{water}(T_i - T_F) - sm_{ice} T_F}{m_{ice}}$$

where  $L_F^*$  is the experimental value obtained assuming that all the mass measured as  $m_{ice}$  is in fact ice. But if an incremental mass  $\Delta m$  is already water (wet ice) then the real value of heat of fusion  $L_F$  is obtained from

$$(m_{ice} - \Delta m) L_F + sm_{ice} T_F = sm_{water}(T_i - T_F)$$

$$L_F = \frac{sm_{water}(T_i - T_F) - sm_{ice} T_F}{m_{ice} - \Delta m}$$

Αρχή  
αλλαγής  
φάσης

Η τελική έκφραση για την πειραματική θερμότητα τήξης είναι :

$$L_F^* = \left[ \frac{m_{ice} - \Delta m}{m_{ice}} \right] L_F$$

$m_{ice}$  is the measured mass of the wet ice.

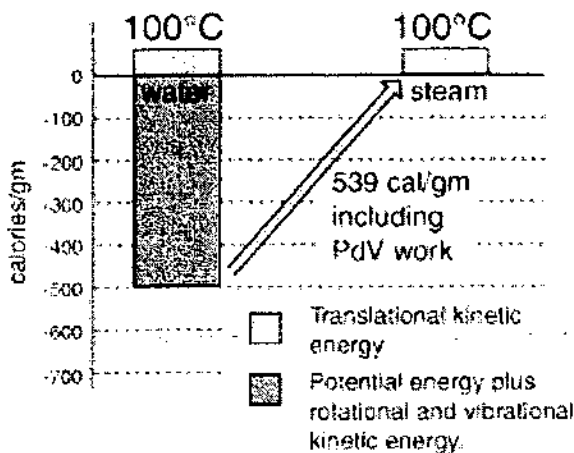
$\Delta m$  is the amount which is already melted at that time.

Η πειραματική τιμή  $L_F^*$  φαίνεται να είναι πάρα πολύ μικρή δεδομένου ότι ο παρονομαστής της πρώτης έκφρασης για τη λανθάνουσα θερμότητα περιέχει ανωτέρω ολόκληρη την μάζα και είναι επομένως πάρα πολύ μεγάλη. Εάν 100 γραμμάρια νερού αρχίζουν σε 40C και ψύχονται σε 10C, μια μάζα πάγου 33.3 γραμμαρίων ξηρού πάγου θα απαιτούταν για μια θερμότητα τήξης ίση με 80 θερμίδες/ gm Εάν ένα γραμμάριο των μετρημένων 33.3 gm έλιωνε ήδη, τότε το νερό θα ψύχονταν στους 10.6C και η πειραματική τιμή για τη θερμότητα τήξης θα ήταν 77.6 θερμίδες/ gm .

Αλλαγή φάσης Νερού Θερμότητα τήξης Ειδική Θερμότητα

Νερό

## Θερμότητα Εξάτμισης



2260 J/gm = 539 cal/gm  
 $L_V$  = heat of vaporization for water

Η ενέργεια που απαιτείται για να αλλάξει ένα γραμμάριο υγρού σε αέρια κατάσταση στο σημείο βρασμού καλείται "θερμότητα εξάτμισης".

Αυτή η ενέργεια χωρίζει τις διαμοριακές ελκυστικές δυνάμεις, και πρέπει επίσης να παρέχει την ενέργεια που είναι απαραίτητη να εκτονώσει το αέριο (έργο PdV). Για ένα ιδανικό αέριο, δεν υπάρχει πλέον οποιαδήποτε πιθανή ενέργεια που συνδέεται με τις διαμοριακές δυνάμεις. Έτσι η εσωτερική ενέργεια είναι εξ ολοκλήρου στην μοριακή

Αλλαγή φάσης Νερού



κινητική ενέργεια. .

Η τελική ενέργεια απεικονίζεται εδώ όπως όντας στην κινητική ενέργεια που μετατρέπεται, η οποία δεν είναι αυστηρά αληθινή. Υπάρχει επίσης κάποια παλμική και περιστροφική ενέργεια.

Ένα σημαντικό τυπικό γνώρισμα της αλλαγής φάσης της εξάτμισης νερού είναι η μεγάλη αλλαγή στον όγκο που το συνοδεύει. Ένα μόριο νερού είναι 18 grams, και στο STP αυτό το μόριο καταλαμβάνει 22.4 λίτρα εάν ατμοποιηθεί σε αέριο. Εάν η αλλαγή του νερού σε ατμό στους 100°C, παρά 0°C, τότε από τον νόμο των ιδανικών αερίων αυτός ο όγκος θα αυξηθεί από τον λόγο των απολύτων θερμοκρασιών, 373K/ 273K, σε 30.6 λίτρα.

Συγκρίνοντας αυτό τον όγκο του υγρού νερού, ο όγκος εκτονώνεται από έναν παράγοντα που είναι  $30600/18 = 1700$  όταν ατμοποιείται σε ατμό στους 100°C. Αυτό είναι ένα φυσικό γεγονός που οι πυροσβέστες γνωρίζουν, επειδή λόγω αυτής της τιμής (1700) ο όγκος αυξάνεται όταν ψεκάσουμε νερό σε μια πυρκαγιά ή σε μια καυτή επιφάνεια που μπορεί να είναι εκρηκτική και επικίνδυνη.

Ένας τρόπος να απεικονιστεί αυτή η μεγάλη αλλαγή στον όγκο είναι να σημειωθεί ο όγκος 18 ml νερού σε έναν κλιμακωτό κύλινδρο ως όγκο που καταλαμβάνεται από τον αριθμό Avogadro μορίων νερού στην υγρή κατάσταση. Εάν μετατραπεί σε ατμό στους 100°C η ίδια ποσότητα νερού θα γέμιζε ένα μπαλόνι με διάμετρο 38.8 εκατ. (15.3 ίντσες).

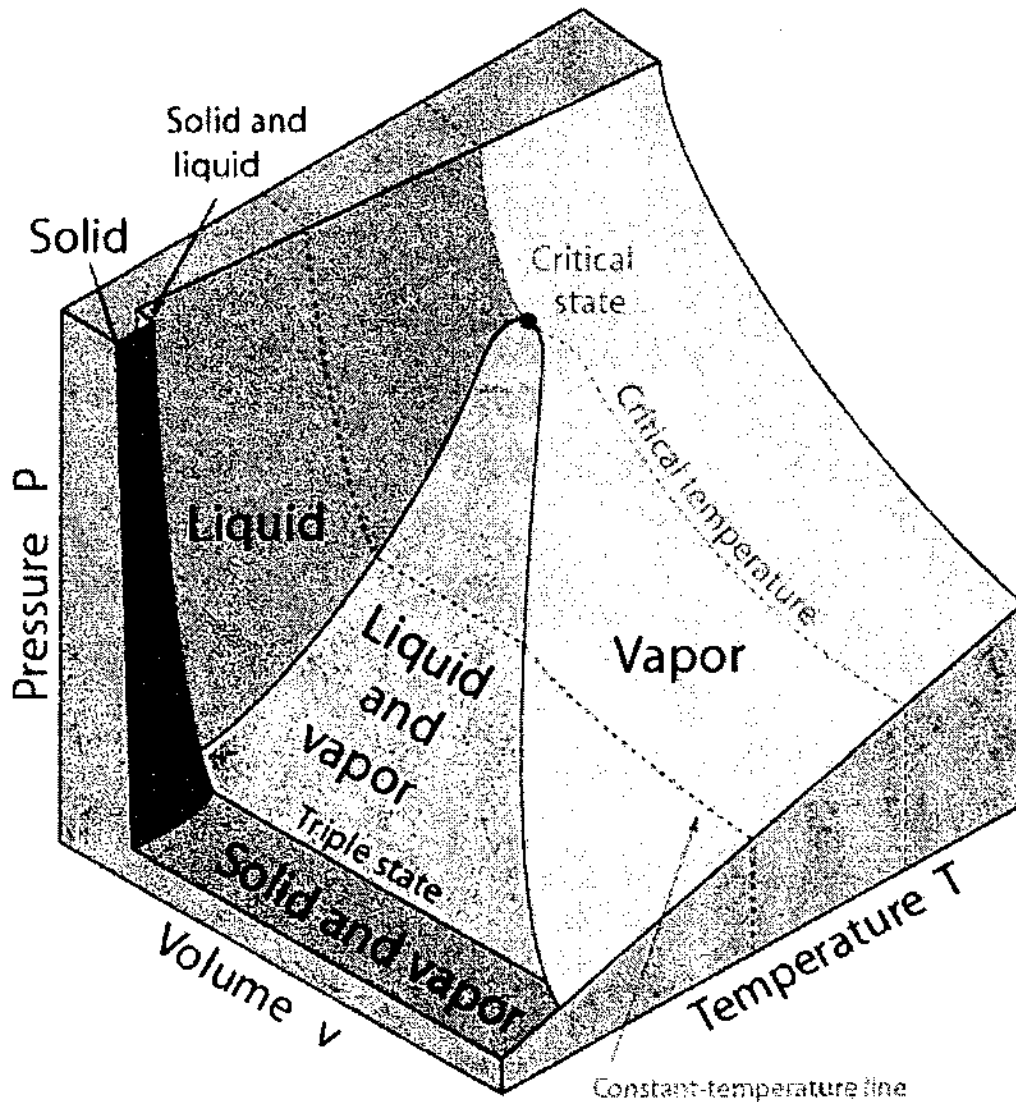
Αλλαγή φάσης Νερού Πίνακας θερμότητας εξάτμισης

Μερικά υπολογιστικά μοντέλα ενέργειας

Η θερμότητα εξάτμισης σε θερμοκρασία σώματος είναι 580 cal/ γραμμάριο. Γιατί;

Νερό

## Διάγραμμα PVT ουσίας που εκτονώνεται κατά την ψύξη της



Αναφορά  
Wark και  
Richards  
Ch 3

Οι καταστάσεις ισορροπίας μιας απλής, συμπέσιμης ουσίας μπορούν να διευκρινιστούν από την πίεση, τον όγκο και την θερμοκρασία της. Εάν οποιοσδήποτε δύο από αυτές τις καταστατικές μεταβλητές διευκρινιστούν, η τρίτη καθορίζεται. Αυτό υπονοεί ότι οι καταστατικές μεταβλητές της ουσίας μπορούν να αντιπροσωπευθούν από μια επιφάνεια σε έναν τρισδιάστατο διάγραμμα PVT. Το διάγραμμα PVT, ανωτέρω, αντιπροσωπεύει μια ουσία που διαστέλλεται-εκτονώνεται κατά την διάρκεια της ψύξης της. Η μεγάλη πλειοψηφία των ουσιών συμπέζονται-συρρικνώνονται όταν ψύχονται. Η αξιοσημείωτη εξαίρεση είναι το νερό για το οποίο η διαστολή του κατά την ψύξη ασκεί τεράστια επίδραση στη φύση της γης. Ένα μη αμελητέο ποσό πληροφοριών για το θέμα αυτό μπορεί να διευκρινιστεί με το διάγραμμα PVT.

Οι φάσεις στερεού, υγρού και αέριου (ατμός) μπορούν να αντιπροσωπευθούν

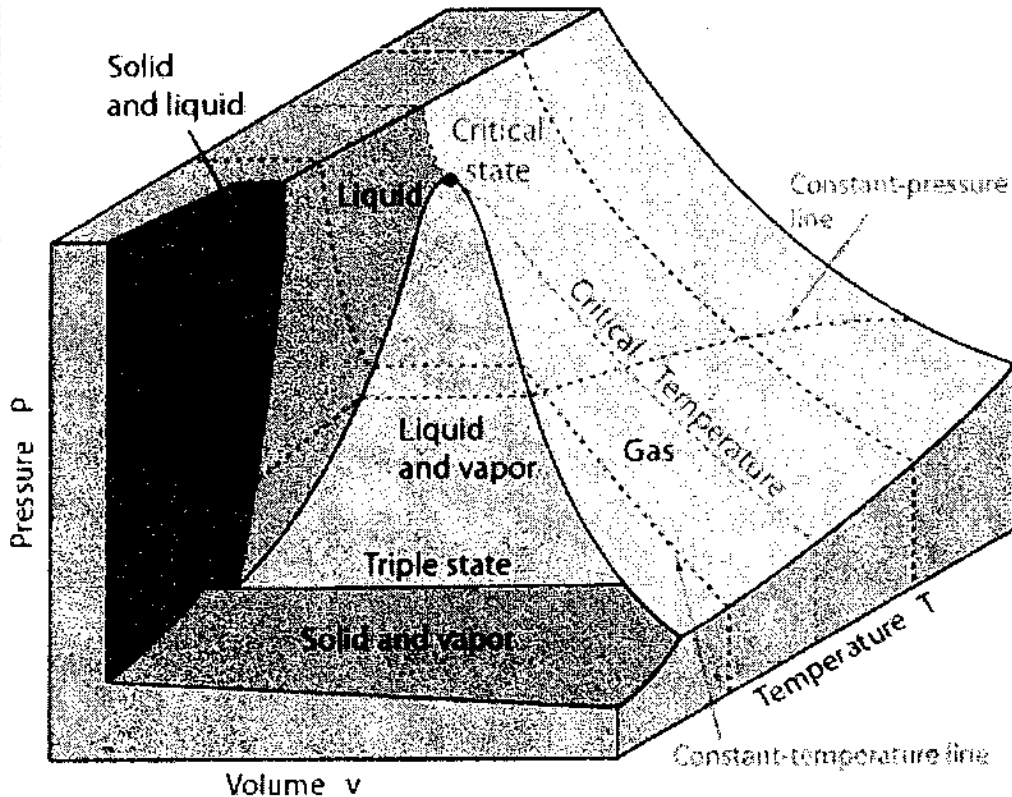
από τις επιφάνειες του διαγράμματος. Σημειώστε ότι υπάρχουν περιοχές στο διάγραμμα που αντιπροσωπεύουν μια ενιαία φάση, και περιοχές που είναι συνδυασμοί δύο φάσεων. Ένα σημείο που βρίσκεται σε μια γραμμή μεταξύ μιας μονοφασικής και διφασικής περιοχής αντιπροσωπεύει μια "κατάσταση κορεσμού". Η γραμμή μεταξύ του υγρού και των περιοχών υγρό-ατμός καλείται γραμμή κορεσμένου υγρού και οποιοδήποτε σημείο σε εκείνη την γραμμή αντιπροσωπεύει μια κορεσμένη υγρή κατάσταση. Ένα σημείο στο όριο μεταξύ του ατμού και των περιοχών υγρό-ατμός καλείται κατάσταση κορεσμένου ατμού.

Σημειώστε την κρίσιμη κατάσταση όπου οι γραμμές κορεσμένου υγρού και κορεσμένου ατμού συναντιούνται. Οι καταστατικές μεταβλητές αυτού του μοναδικού σημείου δείχνονται από τα  $P_c$ ,  $v_c$  και  $T_c$ . Εάν μια ουσία είναι επάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία  $T_c$ , δεν μπορεί να συμπυκνωθεί σε υγρό, ανεξάρτητα από το πόσο υψηλή είναι η πίεση. Αυτή η συγχώνευση των καταστάσεων υγρού και ατμού επάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία είναι ένα χαρακτηριστικό όλων των γνωστών ουσιών. Ενώ μια καθαρή κατάσταση ατμού μπορεί να υπάρξει σε μια πίεση χαμηλότερη από το  $P_c$ , στις πιέσεις επάνω από το  $P_c$  περιορίζονται (αυτές οι ουσίες) να είναι ατμός. Οι καταστάσεις με τις πιέσεις επάνω από το  $P_c$  περιγράφονται ως "εξαιρετικές κρίσιμες καταστάσεις".

Η αξιοπρόσεκτη "τριπλή κατάσταση" του θέματος όπου το στερεό, το υγρό και ο ατμός είναι σε ισορροπία μπορεί να χαρακτηριστεί από μια θερμοκρασία αποκαλούμενη τριπλό σημείο. Η τριπλή κατάσταση αντιπροσωπεύεται από μια γραμμή παράλληλη στο επίπεδο PV με μια τυπική πίεση για την ουσία αλλά μεταβλητό όγκο. Στην τριπλή θερμοκρασία του σημείου του νερού ορίζεται η τιμή 273.16 K και η τριπλή κατάσταση του νερού χρησιμοποιείται ως αναφορά για την καθιέρωση της θερμοκρασιακής κλίμακας του Kelvin.

Πίνακας δεδομένων της τριπλής κατάστασης

## Διάγραμμα PVT ουσίας που συστέλλεται κατά την ψύξη της



Αναφορά  
Wark και  
Richards  
Ch 3

Οι καταστάσεις ισορροπίας μιας απλής, συμπίεσιμης ουσίας μπορούν να διευκρινιστούν από την πίεση, τον όγκο και την θερμοκρασία της. Εάν οποιοσδήποτε δύο από αυτές τις καταστατικές μεταβλητές διευκρινιστούν, η τρίτη καθορίζεται. Αυτό υπονοεί ότι οι καταστατικές μεταβλητές της ουσίας μπορούν να αντιπροσωπευθούν από μια επιφάνεια σε έναν τρισδιάστατο διάγραμμα PVT. Το διάγραμμα PVT, ανωτέρω, αντιπροσωπεύει μια ουσία που συστέλλεται κατά την ψύξη της. Η μεγάλη πλειοψηφία των ουσιών κάνουν έτσι, η αξιοσημείωτη εξαίρεση είναι το νερό που διαστέλλεται εκτονώνεται κατά την ψύξη. Ένα μη αμελητέο ποσό πληροφοριών για το θέμα αυτό μπορεί να διευκρινιστεί με το διάγραμμα PVT.

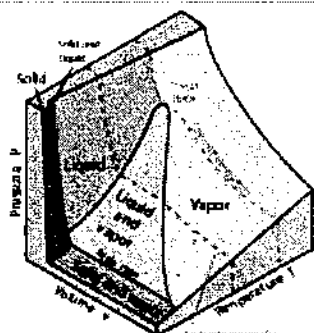
Οι φάσεις στερεού, υγρού και αέριου (ατμός) μπορούν να αντιπροσωπευθούν από τις επιφάνειες του διαγράμματος. Σημειώστε ότι υπάρχουν περιοχές στο διάγραμμα που αντιπροσωπεύουν μια ενιαία φάση, και περιοχές που είναι συνδυασμοί δύο φάσεων. Ένα σημείο που βρίσκεται σε μια γραμμή μεταξύ μιας μονοφασικής και διφασικής περιοχής αντιπροσωπεύει μια "κατάσταση κορεσμού". Η γραμμή μεταξύ του υγρού και των περιοχών υγρό-ατμός καλείται γραμμή κορεσμένου υγρού και οποιοδήποτε σημείο σε εκείνη την γραμμή αντιπροσωπεύει μια κορεσμένη υγρή κατάσταση. Ένα σημείο στο όριο μεταξύ του ατμού και των περιοχών υγρό-ατμός καλείται κατάσταση

κορεσμένου ατμού.

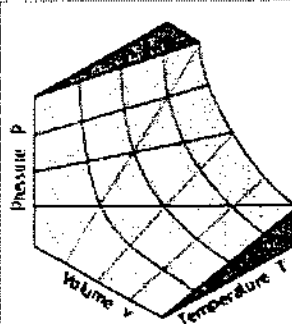
Σημειώστε την κρίσιμη κατάσταση όπου οι γραμμές κορεσμένου υγρού και κορεσμένου ατμού συναντιούνται. Οι καταστατικές μεταβλητές αυτού του μοναδικού σημείου δείχνονται από τα  $P_c$ ,  $v_c$  και  $T_c$ . Εάν μια ουσία είναι επάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία  $T_c$ , δεν μπορεί να συμπυκνωθεί σε υγρό, ανεξάρτητα από το πόσο υψηλή είναι η πίεση. Αυτή η συγχώνευση των καταστάσεων υγρού και ατμού επάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία είναι ένα χαρακτηριστικό όλων των γνωστών ουσιών. Ενώ μια καθαρή κατάσταση ατμού μπορεί να υπάρξει σε μια πίεση χαμηλότερη από το  $P_c$ , στις πιέσεις επάνω από το  $P_c$  περιορίζονται (αυτές οι ουσίες) να είναι ατμός. Οι καταστάσεις με τις πιέσεις επάνω από το  $P_c$  περιγράφονται ως "εξαιρετικές κρίσιμες καταστάσεις".

Η αξιοπρόσεκτη "τριπλή κατάσταση" του θέματος όπου το στερεό, το υγρό και ο ατμός είναι στην ισορροπία μπορεί να χαρακτηριστεί από μια θερμοκρασία αποκαλούμενη τριπλό σημείο. Η τριπλή κατάσταση αντιπροσωπεύεται από μια γραμμή παράλληλη στο επίπεδο  $Pv$  με μια τυπική πίεση για την ουσία αλλά μεταβλητό όγκο. Στην τριπλή θερμοκρασία του σημείου του νερού ορίζεται η τιμή 273.16 K και η τριπλή κατάσταση του νερού χρησιμοποιείται ως αναφορά για την καθιέρωση της θερμοκρασιακής κλίμακας του Kelvin.

PVT διάγραμμα για :

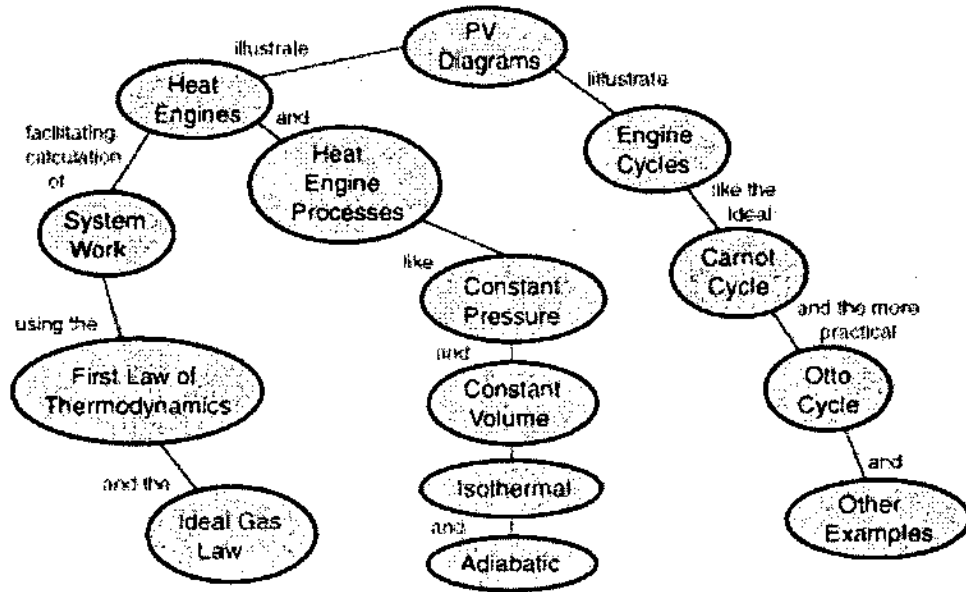


Ουσία που διαστέλλεται κατά την ψύξη



Ιδανικό Αέριο

Πίνακας δεδομένων της τριπλής κατάστασης

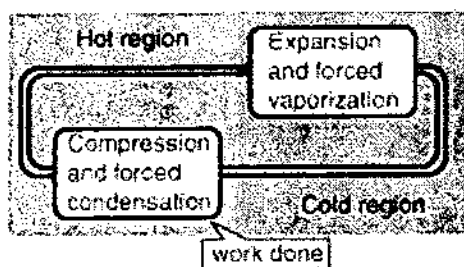


**PvT Επιφάνεια (Πίεσης-Όγκου-Θερμοκρασίας)**

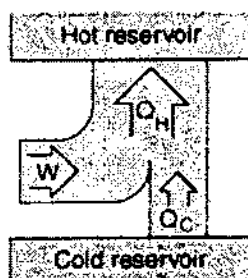
## Ροή θερμότητας προς την θερμότερη περιοχή

Παρόλο που η εσωτερική ενέργεια δεν θα ρεύσει αυθόρμητα από μια κρύα περιοχή σε μια θερμή περιοχή, μπορεί να αναγκαστεί να κάνει έτσι με πρόσδοση έργου στο σύστημα. Τα Ψυγεία και οι αντλίες θερμότητας είναι παραδείγματα των θερμικών μηχανών που αναγκάζουν την ενέργεια να μεταφερθεί από μια κρύα περιοχή σε μια θερμή περιοχή. Συνήθως αυτό γίνεται με την ενίσχυση της αλλαγής φάσης, π.χ., ένα ψυκτικό υγρό αναγκάζεται να εξατμιστεί και να εξαγάγει ενέργεια από την κρύα περιοχή. Κατόπιν συμπιέζεται και αναγκάζεται να συμπυκνωθεί στην ζεστή περιοχή, αποβάλλοντας την θερμότητα εξατμίσεώς του στην θερμή περιοχή.

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής



All real refrigerators require work to get heat to flow from a cold area to a warmer area.



# Θερμοκρασία

Ένας κατάλληλος λειτουργικός ορισμός της θερμοκρασίας είναι ότι είναι ένα μέτρο του μέσου όρου της κινητικής ενέργειας που μετατρέπεται και συνδέεται με τη διαταραγμένη μικροσκοπική κίνηση των ατόμων και των μορίων. Η ροή της θερμότητας γίνεται από μια περιοχή υψηλής θερμοκρασίας προς μια περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας. Οι λεπτομέρειες της σχέσης στη μοριακή κίνηση περιγράφονται μέσα στην κινητική θεωρία. Η θερμοκρασία που καθορίζεται από την κινητική θεωρία καλείται κινητική θερμοκρασία. Η θερμοκρασία δεν είναι άμεσα ανάλογη προς την εσωτερική ενέργεια δεδομένου ότι η θερμοκρασία μετρά μόνο την κινητική ενέργεια που αποτελεί μέρος της εσωτερικής ενέργειας, έτσι δύο αντικείμενα με την ίδια θερμοκρασία γενικά δεν έχουν την ίδια εσωτερική ενέργεια (βλέπε παράδειγμα νερού-μετάλλου). Οι θερμοκρασίες μετριοούνται σε ένα από τα τρία πρότυπα των θερμοκρασιακών μονάδων (Κελσίου, Κέλβιν και Φαρενάιτ).

Θερμοκρασιακή  
Αρχή



If the temperature of two objects is the same, then their average translational KE is the same.



Internal Energy

Their internal energies and specific heats will not necessarily be the same.

$$\left[ \frac{1}{2} mv^2 \right]_{\text{average}} = \frac{3}{2} kT$$

defines the kinetic temperature

k = Boltzmann constant

Πιο γενική άποψη της θερμοκρασίας



# Θερμοκρασιακές Μονάδες

Οι θερμοκρασιακές μονάδες Κελσίου, Κέλβιν και Φάρεναιτ δείχνονται σε σχέση με την αλλαγή φάσης της θερμοκρασίας του νερού. Η κλίμακα του Κέλβιν καλείται απόλυτη θερμοκρασία και ο Κέλβιν είναι στο σύστημα SÍ η μονάδα για τη θερμοκρασία.

373.15 K                      100°C                      212°F

Boiling point of water at atmospheric pressure

$$\square \text{ K} = \square \text{ }^\circ\text{C} = \square \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_K = T_C + 273.15$$

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$$

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

Freezing point of water

273.15 K

0°C

32°F

Kelvin

Celsius

Fahrenheit

Το τριπλό σημείο του νερού είναι 273.16 K, και αυτό είναι ένα διεθνές τυποποιημένο σημείο θερμοκρασίας. Το σημείο ψύξης του νερού σε πίεση μιας ατμόσφαιρας, 0.00°C, είναι 0.01K κάτω από αυτό σε 273.15 K. Εάν θέλετε να είστε πραγματικά ακριβείς για αυτό, το σημείο βρασμού είναι 373.125 K, ή 99.75 °C. Αλλά για γενικούς λόγους, οι τιμές 0°C και 100°C είναι αρκετά ακριβείς.

Τυποποιημένα σημεία θερμοκρασίας

Θερμοκρασιακή  
Αρχή

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

# Τυποποιημένα Σημεία Θερμοκρασίας

Ενώ η τυπική επεξεργασία των θερμοκρασιακών μονάδων δέχεται ότι το σημείο ψύξης του νερού είναι 0C και το σημείο βρασμού στην τυποποιημένη πίεση είναι 100C, υπάρχουν ακριβέστερες επεξεργασίες των τυποποιημένων σημείων για τον καθορισμό των θερμοκρασιών. Με τη διεθνή συμφωνία, ένα τυποποιημένο σημείο είναι το τριπλό σημείο του νερού που έχει καθοριστεί να είναι 273.16K. Το σημείο ψύξης του νερού στην ατμοσφαιρική πίεση είναι .01K κάτω στους 273.15K.

Προκειμένου να ληφθεί ένα δεύτερο τυποποιημένο σημείο, με τη βοήθεια ενός θερμομέτρου που δεν εξαρτάται από την ιδιαίτερη ουσία που χρησιμοποιεί, ένα σταθερού όγκου θερμομέτρο αέρα επιλέχτηκε να μετρήσει το σημείο βρασμού του νερού. Αυτή η μέθοδος είναι βασισμένη στον νόμο των ιδανικών αερίων, π.χ. η υπόθεση ότι εάν ο όγκος καθορίζεται, η θερμοκρασία είναι άμεσα ανάλογη προς την πίεση. Αυτή η μέτρηση οδηγεί στο σημείο βρασμού των 373.125K ή 99.975 C κάτω από την ψύξη στην ειδική πίεση. Αυτή η μέτρηση είναι ανεξάρτητη από το αέριο που χρησιμοποιείται από το θερμομέτρο. Τα συνηθισμένα αέρια δεν συμπεριφέρονται ακριβώς ως ιδανικά αέρια και περιγράφονται καλύτερα από την van der Waals καταστατική εξίσωση, αλλά όπως αυτά εκτονώνονται σε μηδενική πίεση, προβάλλονται στην ίδια τιμή για τους 0C (μηδέν βαθμοί στην κλίμακα του Κέλβιν).

Πίνακας των τυποποιημένων σημείων θερμοκρασίας

Θερμοκρασιακή

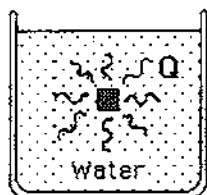
Αρχή

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

# Θερμιδομετρία

Η θερμιδομετρία είναι η μονάδα μέτρησης της ποσότητας της θερμότητας που ανταλλάσσεται. Για παράδειγμα, εάν η ενέργεια από μια εξώθερμη χημική αντίδραση απορροφηθεί σε ένα δοχείο που περιέχει νερό, η αλλαγή στη θερμοκρασία του νερού ορίζει ένα μέτρο της ποσότητας της θερμότητας που προστέθηκε. Τα θερμιδόμετρα χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν την ενέργεια που περιέχεται στα τρόφιμα, καίγοντας αυτά (τα τρόφιμα) στην ατμόσφαιρα με οξυγόνο και μετρώντας την ενέργεια που αποδίδεται σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας του θερμιδόμετρου. Οι θερμιδομετρητές μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν στο να μετρήσουν τις ειδικές θερμότητες μιας ουσίας.

Τα υλικά που περιέχονται στα θερμιδόμετρα μοντελοποιούνται εδώ ως όγκος νερού, μια πηγή θερμότητας, η οποία χαρακτηρίζεται από την ισοδύναμη μάζα νερού, και το δοχείο του θερμιδόμετρου με την μάζα του και την ειδική του θερμότητα. Η θερμική ισορροπία αναμένεται μετά το πείραμα έτσι ώστε η αλλαγή στη θερμοκρασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο να υπολογισθεί η ενέργεια που απελευθερώθηκε.



Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com))

Μάζα νερού = \_\_\_\_\_ gm

Ισοδύναμη μάζα σε νερό της πηγής θερμότητας = \_\_\_\_\_ gm.

Μάζα του θερμιδόμετρου = \_\_\_\_\_ gm.

Ειδική θερμότητα του θερμιδόμετρου = \_\_\_\_\_ cal/gm C  
= \_\_\_\_\_ joule/gm C.

Εάν το θερμιδόμετρο αυξάνει την θερμοκρασία κατά \_\_\_\_\_ C, τότε το ποσό της απελευθερωμένης θερμότητας είναι :

$$Q = \left[ \left( 1 \frac{\text{cal}}{\text{gm } ^\circ\text{C}} \right) ( \quad \text{gm} ) + \left( \frac{\text{cal}}{\text{gm } ^\circ\text{C}} \right) ( \quad \text{gm} ) \right] ( \quad ^\circ\text{C} )$$

Q = \_\_\_\_\_ calories = \_\_\_\_\_ joules

Αρχή  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Παράδειγμα  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Θερμική  
Ισορροπία

# Θερμική Αγωγιμότητα

Η μετάδοση θερμότητας από αγωγή περιλαμβάνει μεταφορά ενέργειας μέσα σε ένα υλικό χωρίς οποιαδήποτε κίνηση του υλικού συνολικά. Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας εξαρτάται από τη βαθμωτή θερμοκρασιακή μεταβολή και την θερμική αγωγιμότητα του υλικού. Η θερμική αγωγιμότητα είναι εύλογα μια απλή έννοια όταν συζητείτε η απώλεια θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων του σπιτιού σας, και μπορείτε να βρείτε τους πίνακες που χαρακτηρίζουν τα οικοδομικά υλικά και επιτρέπουν σε σας να κάνετε τους λογικούς υπολογισμούς.

Τα πιο θεμελιώδη ζητήματα προκύπτουν όταν εξετάζετε τους λόγους για τις ευρείες παραλλαγές στη θερμική αγωγιμότητα. Τα αέρια μεταφέρουν θερμότητα από άμεση σύγκρουση μεταξύ των μορίων, και όπως θα αναμενόταν, η θερμική αγωγιμότητα τους είναι χαμηλή έναντι των στερεών, δεδομένου ότι αυτά είναι αραιά μέσα. Τα μη μεταλλικά στερεά μεταφέρουν θερμότητα από τις δονήσεις του δικτυωτού πλέγματος έτσι ώστε να μην υπάρχει καμία καθαρή κίνηση των μέσων καθώς η ενέργεια διαδίδεται κατευθείαν. Τέτοια μεταφορά θερμότητας περιγράφεται συχνά από την άποψη των "κβάντουμ ενεργειών ταλάντωσης", των κβάντουμ δονήσεων του δικτυωτού πλέγματος. Τα μέταλλα είναι πολύ καλύτεροι θερμικοί αγωγοί από τα αμέταλλα επειδή τα ίδια κινούμενα ηλεκτρόνια που συμμετέχουν στην ηλεκτρική διεξαγωγή συμμετέχουν επίσης στη μετάδοση θερμότητας.

Εννοιολογικά, η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να θεωρηθεί ως δοχείο για τις μέσες-εξαρτώμενες ιδιότητες που αφορούν το ρυθμό απώλειας θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας προς το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας.

Power per  
unit area  
transported

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t A} = \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Thermal  
conductivity

Temperature  
gradient

Περισσότερη τυπική  
χρήση

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

Για ένα ιδανικό αέριο ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας είναι ανάλογος προς τη μέση μοριακή ταχύτητα, τη μέση ελεύθερη πορεία, και τη μοριακή θερμική αγωγιμότητα του αερίου.

$$\kappa = \frac{n \langle v \rangle \lambda c_V}{3N_A}$$

Thermal conductivity  $\kappa$  is determined by:
 

- Particles per unit volume  $n$
- Mean particle speed  $\langle v \rangle$
- Mean free path  $\lambda$
- Molar heat capacity  $c_V$
- Avogadro's number  $3N_A$

Για τα μη μεταλλικά στερεά, η μετάδοση θερμότητας είναι η άποψη για τον τρόπο που μεταφέρεται μέσω των δονήσεων του δικτυωτού πλέγματος, μέσω των ατόμων που δονούνται πιο δραστήρια σε ένα μέρος του στερεού μεταδίδοντας αυτήν την ενέργεια στα λιγότερο ενεργητικά γειτονικά άτομα. Αυτό μπορεί να ενισχυθεί από την αθροιστική κίνηση υπό μορφή διάδοσης των κυμάτων του δικτυωτού πλέγματος, τα οποία στο κβαντικό όριο κβαντοποιούνται ως κβάντουμ ενέργειας ταλάντωσης. Πρακτικά, υπάρχει τόσο πολλή μεταβλητότητα για τα μη μεταλλικά στερεά που κανονικά απλώς χαρακτηρίζουμε την ουσία με μια μετρημένη θερμική αγωγιμότητα όταν κάνουμε τους συνηθισμένους υπολογισμούς.

Για τα μέταλλα, η θερμική αγωγιμότητα είναι αρκετά υψηλή, και αυτά τα μέταλλα που είναι οι καλύτεροι ηλεκτρικοί αγωγοί είναι επίσης οι καλύτεροι θερμικοί αγωγοί. Σε μια δεδομένη θερμοκρασία, οι θερμικές και ηλεκτρικές αγωγιμότητες των μετάλλων είναι ανάλογες, αλλά η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τη θερμική αγωγιμότητα μειώνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αυτή η συμπεριφορά ποσολογείται στον Wiedemann-Franz Νόμο:

$$\frac{\kappa}{\sigma} = LT \quad \text{or} \quad L = \frac{\kappa}{\sigma T} \quad \text{Wiedemann-Franz Law}$$

$\kappa$  = thermal conductivity       $\sigma$  = electrical conductivity  
 $L$  = Lorenz number

όπου η σταθερά αναλογίας  $L$  καλείται αριθμός Lorenz. Ποιοτικά, αυτή η σχέση είναι βασισμένη στο γεγονός ότι η θερμότητα και η ηλεκτρική μεταφορά και οι δύο περιλαμβάνουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στο μέταλλο. Η θερμική αγωγιμότητα αυξάνεται με τη μέση ταχύτητα μορίων αφού αυτή αυξάνει την προστινή μεταφορά της ενέργειας. Εντούτοις, η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται με τις αυξήσεις της ταχύτητας των μορίων επειδή οι συγκρούσεις εκτρέπουν τα ηλεκτρόνια από την προστινή μεταφορά του φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι ο λόγος της θερμικής προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα στο τετράγωνο, η οποία είναι ανάλογη προς την κινητική θερμοκρασία.

Πίνακας Θερμικής αγωγιμότητας

# Θερμική Αγωγιμότητα

Η μετάδοση θερμότητας από αγωγή περιλαμβάνει τη μετάδοση ενέργειας μέσα σε ένα υλικό χωρίς οποιαδήποτε κίνηση του υλικού συνολικά. Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας εξαρτάται από την θερμοκρασιακή μεταβολή και την θερμική αγωγιμότητα του υλικού. Οι αλγεβρικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της αγωγής της μετάδοσης θερμότητας στα τοιχώματα αεροπλάνων, αλλά για περισσότερες γεωμετρίες η μετάδοση θερμότητας πρέπει να εκφραστεί από την άποψη της θερμικής μεταβολής.

Εννοιολογικά, η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να θεωρηθεί ως δοχείο για τις μέσες-εξαρτώμενες ιδιότητες που αφορούν το ρυθμό απώλειας θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας προς το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας .

$$\frac{dQ}{dtA} = -k \nabla T$$


*The net heat transfer is in the direction of the negative of the temperature gradient.*

Η μαθηματική μεταβολή μιας λειτουργίας είναι ένα κατευθυντικό παράγωγο το οποίο δείχνει προς την κατεύθυνση του μέγιστου ρυθμού μεταβολής της λειτουργίας. Η κατεύθυνση της μετάδοσης θερμότητας θα είναι αντίθετη από την θερμοκρασιακή μεταβολή αφού η μετάδοση της καθαρής ενέργειας θα είναι από την υψηλή θερμοκρασία στη χαμηλή. Αυτή η κατεύθυνση της μέγιστης μετάδοσης θερμότητας θα είναι κάθετη στις ίσες-θερμοκρασίας επιφάνειες που περιβάλλουν μια πηγή θερμότητας .

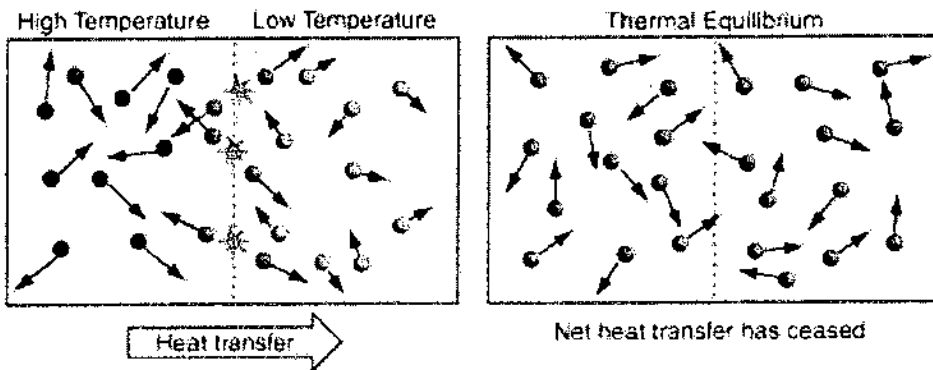
Πίνακας Θερμικής Αγωγιμότητας

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

# Γενική Άποψη της Θερμοκρασίας

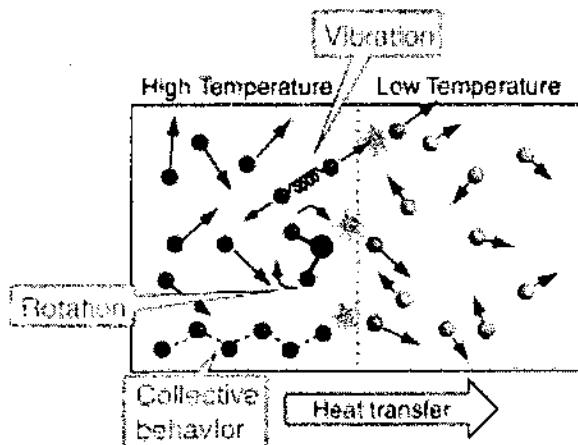
Όταν ένα υψηλής θερμοκρασίας αντικείμενο έρθει σε επαφή με ένα αντικείμενο χαμηλής θερμοκρασίας, τότε ενέργεια θα ρεύσει από το αντικείμενο υψηλής θερμοκρασίας στο αντικείμενο χαμηλότερης θερμοκρασίας και θα πλησιάσουν σε μια θερμοκρασία ισορροπίας. Όταν οι λεπτομέρειες αυτού του σεναρίου κοινής λογικής εξετάζονται, γίνεται εμφανές ότι η απλή άποψη της θερμοκρασίας που ενσωματώνεται στην συνήθη χρησιμοποιούμενη προσέγγιση της κινητικής θερμοκρασίας δημιουργεί μερικά σημαντικά προβλήματα.



Θερμοκρασιακή  
Αρχή

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 1,3

Η ανωτέρω απεικόνιση συνοψίζει την κατάσταση όταν δίνει η κινητική θερμοκρασία μια λογική γενική περιγραφή της φύσης της θερμοκρασίας. Για τα μονοατομικά αέρια που ενεργούν όπως οι σημειακές μάζες, μια υψηλότερη θερμοκρασία υπονοεί απλά την υψηλότερη μέση κινητική ενέργεια. Τα γρηγορότερα μόρια που συγκρούονται πιο συχνά στο όριο πραγματοποιώντας ελαστικές συγκρούσεις θα αυξήσουν την ταχύτητα των πιο αργών μορίων και θα μειώσουν την δική τους ταχύτητα, μεταφέροντας ενέργεια από την περιοχή υψηλότερης θερμοκρασίας στην περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας. Με το χρόνο, τα μόρια στις δύο περιοχές πλησιάζουν την ίδια μέση κινητική ενέργεια (ίδια θερμοκρασία) και σε αυτήν την κατάσταση της θερμικής ισορροπίας δεν υπάρχει πλέον οποιαδήποτε καθαρή μεταφορά ενέργειας από το ένα αντικείμενο στο άλλο.



Η έννοια της θερμοκρασίας περιπλέκεται από τους εσωτερικούς βαθμούς ελευθερίας όπως τη μοριακή, την περιστροφική και την παλμική (λόγω ταλάντωσης) και από την ύπαρξη εσωτερικών αλληλεπιδράσεων των στερεών υλικών που μπορούν να περιληφθούν σε ομαδικές μεθόδους. Οι εσωτερικές κινήσεις των μορίων έχουν επιπτώσεις στις ειδικές θερμότητες των αερίων, με το διατομικό υδρογόνο να είναι μια κλασική περίπτωση. Οι ομαδικές μέθοδοι επηρεάζουν την ειδική θερμότητα των υγρών, κυρίως σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Περιπλοκές όπως αυτές έχουν οδηγήσει στην υιοθέτηση μιας διαφορετικής προσέγγισης στην έννοια της θερμοκρασίας στη μελέτη της θερμοδυναμικής. Η πρόταση του Schroeder για έναν θεωρητικό καθορισμό της θερμοκρασίας είναι :

- "Η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της τάσης ενός αντικείμενου να σταματήσει αυθόρμητα η ενέργεια στα περίχωρά του. Όταν δύο αντικείμενα είναι σε θερμική επαφή, αυτό που τείνει να χάσει αυθόρμητα την ενέργεια του είναι στην υψηλότερη θερμοκρασία." (Θερμική Φυσική, Ch 1.)

Η κινητική θερμοκρασία για τα μονοατομικά ιδανικά αέρια που περιγράφεται ανωτέρω είναι σύμφωνη με τον ορισμό της θερμοκρασίας για τα απλά συστήματα στα οποία ισχύει. Σε αυτήν την περίπτωση η ισορροπία που επιτυγχάνεται είναι μια ισορροπία από την μέγιστη εντροπία, και το ποσοστό προσέγγισης σε εκείνη την κατάσταση θα είναι ανάλογο προς τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο μερών του συστήματος. Σημειώνοντας ότι η κατάσταση ισορροπίας μιας ομάδας μορίων θα είναι η κατάσταση της μέγιστης πολλαπλότητας, κατόπιν κάποια μπορεί να καθορίσει τη θερμοκρασία από την άποψη αυτής της πολλαπλότητας (εντροπίας) ως εξής :



$$T = \frac{1}{\left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{N,V}}$$

Η θερμοκρασία εκφράζεται ως το αντίστροφο του ποσοστού μεταβολής της εντροπίας με την εσωτερική ενέργεια, με τον όγκο V και τον αριθμό μορίων N να κρατούνται σταθεροί. Αυτό δεν είναι βεβαίως τόσο εμφανές όσο και η μοριακή κινητική ενέργεια, αλλά στις θερμοδυναμικές εφαρμογές είναι πιο αξιόπιστο και γενικότερο.

**Η Θερμοκρασία από την άποψη της Εντροπίας**

## Η Σχέση Εντροπίας και Θερμοκρασίας

Ο ορισμός της θερμοκρασίας από την άποψη της μοριακής κινητικής ενέργειας, η "κινητική θερμοκρασία", συνήθως χρησιμοποιεί εισαγωγικές επεξηγήσεις της θερμοδυναμικής. Αλλά κατά την άποψη των πρακτικών δυσκολιών αυτής της προσέγγισης, η θερμοκρασία καθορίζεται συχνά από την άποψη δύο άλλων καταστατικών μεταβλητών, την εντροπία S και την εσωτερική ενέργεια U.

$$T = \frac{1}{\left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{N,V}}$$

Η θερμοκρασία εκφράζεται ως το αντίστροφο του ποσοστού μεταβολής της εντροπίας με την εσωτερική ενέργεια, με τον όγκο V και τον αριθμό μορίων N να κρατούνται σταθεροί. Αυτό δεν είναι βεβαίως τόσο εμφανές όσο και η μοριακή κινητική ενέργεια, αλλά στις

Θερμοκρασιακή Αρχή

Αρχή Εντροπίας

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 1,3

θερμοδυναμικές εφαρμογές είναι πιο αξιόπιστο και γενικότερο. Αυτή η μορφή της θερμοκρασίας μπορεί να ληφθεί από την θερμοδυναμική ταυτότητα.

Για να εφαρμόσουμε αυτόν τον ορισμό της θερμοκρασίας σε ένα μονοατομικό ιδανικό αέριο, χρειαζόμαστε μια έκφραση για την εντροπία ενός ιδανικού αερίου:

$$S = \frac{3}{2} Nk \ln U + Nk \ln V + Nk \left[ \ln \left( \frac{1}{N} \left( \frac{4\pi m}{3Nh^2} \right)^{3/2} \right) + \frac{5}{2} \right]$$

Κατόπιν χρησιμοποιώντας τον ορισμό της θερμοκρασίας από την άποψη της εντροπίας :

$$\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{3}{2} \frac{Nk}{U} \quad ; \quad T = \frac{1}{\frac{\partial S}{\partial U}} = \frac{2U}{3Nk}$$

Αυτό δίνει μια έκφραση για την εσωτερική ενέργεια ότι είναι συνεπής με την ισοκατανομή της ενέργειας.

$$U = \frac{3}{2} NkT$$

με  $kT/2$  της ενέργειας για κάθε βαθμό ελευθερίας κάθε ατόμου.

Ένα άλλο παράδειγμα αυτής της προσέγγισης της θερμοκρασίας είναι το στερεό Einstein με  $q$  τις μονάδες της ενέργειας και  $N$  των ταλαντωτών. Η εσωτερική ενέργεια  $U$  μπορεί να αντιπροσωπευθεί με  $q$  επί την ενεργειακή μονάδα ταλαντωτών  $hf = \epsilon$ . Η εντροπία μπορεί να εκφραστεί ως

$$S = Nk(\ln(q/N) + 1) = Nk \ln U - Nk \ln(\epsilon N) + Nk$$

Η λήψη του παραγώγου δίνει

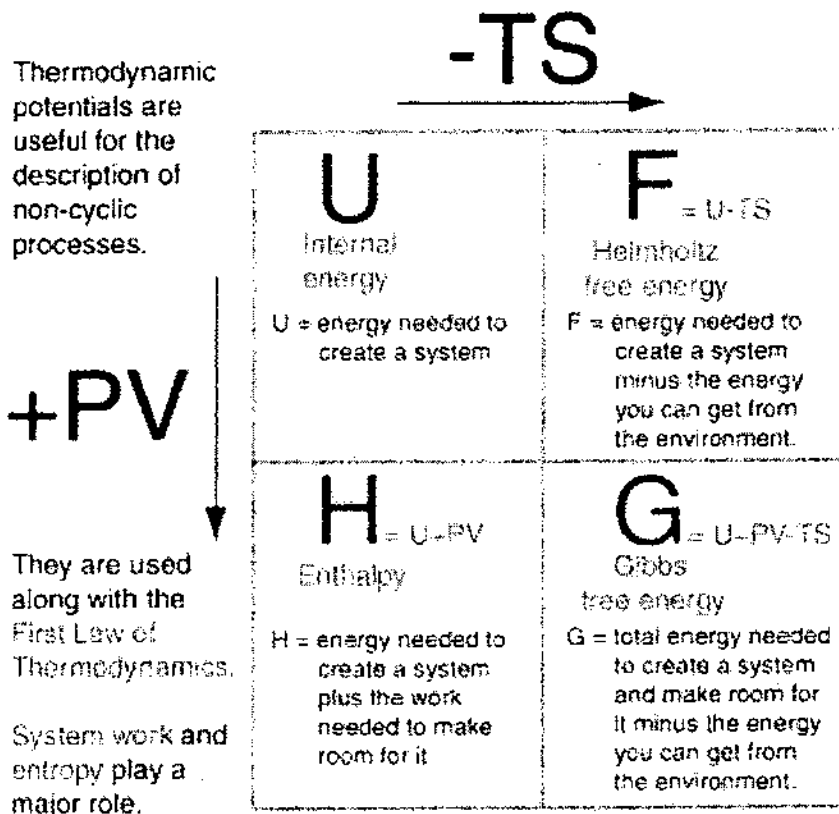
$$T = \left( \frac{\partial S}{\partial U} \right)^{-1} = \left( \frac{Nk}{U} \right)^{-1} \quad \text{or} \quad U = NkT$$

Αυτό είναι ότι αναμένεται από την ισοκατανομή της ενέργειας. Κάθε ταλαντωτής έχει δύο βαθμούς ελευθερίας, και κάθε ένας πρέπει να αντιπροσωπεύσει  $kT/2$  της ενέργειας, δίνοντας  $U=NkT$ .

# Θερμοδυναμικά Δυναμικά

Τέσσερις ποσότητες αποκαλούμενα "Θερμοδυναμικά δυναμικά" είναι χρήσιμες στη χημική θερμοδυναμική των αντιδράσεων και των μη-κυκλικών διαδικασιών. Είναι η εσωτερική ενέργεια, η ενθαλία, η ελεύθερη ενέργεια του Helmholtz και η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs.

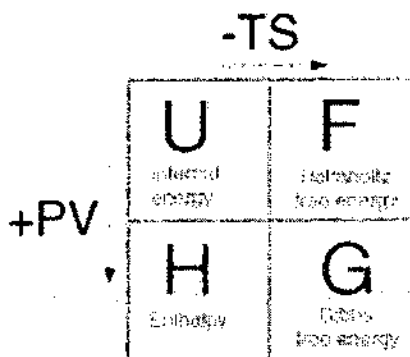
Αυτό είναι ένα ενεργό γραφικό. Τσεκάρετε πάνω σε οποιοδήποτε μέρος για περισσότερες πληροφορίες.



Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 5

Τα τέσσερα Θερμοδυναμικά δυναμικά σχετίζονται με τα όφσεν τον όρο TS "ενέργεια από το περιβάλλον" και τον όρο PV "έργο διαστολής". Ένα μνημονικό διάγραμμα που προτείνεται από Schroeder μπορεί να σας βοηθήσει να παρακολουθήσετε τις σχέσεις μεταξύ των τεσσάρων θερμοδυναμικών δυναμικών.



# Η Θερμοδυναμική Ταυτότητα

Μια χρήσιμη συνοπτική σχέση αποκαλούμενη θερμοδυναμική ταυτότητα χρησιμοποιεί τη δύναμη του υπολογισμού και ιδιαίτερα τις μερικές παραγώγους. Μπορεί να εφαρμοστεί για να εξεταστούν οι διαδικασίες στις οποίες μια ή περισσότερες καταστατικές μεταβλητές κρατούνται σταθερές π.χ., το σταθερό όγκο, τη σταθερή πίεση, κλπ.... Η θερμοδυναμική ταυτότητα ισχύει για οποιαδήποτε άπειρη μικρή ή μεγάλη μεταβολή σε ένα σύστημα τόσο στην πίεση όσο και στη θερμοκρασία. Θεωρείται ότι ο αριθμός των μορίων είναι σταθερός (δηλ., εξετάζετε το ίδιο σύστημα πριν και μετά από την μεταβολή).

Θερμοδυναμική ταυτότητα:

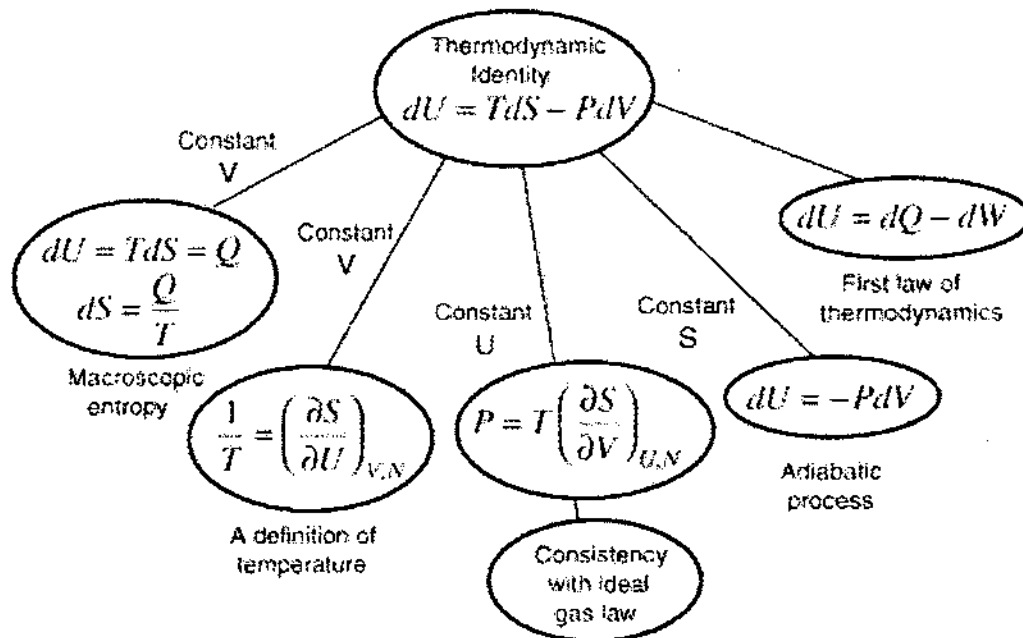
$$dU = TdS - PdV$$

- U = Εσωτερική ενέργεια
- S = Εντροπία
- V = Όγκος
- T = Θερμοκρασία
- P = Πίεση

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

"d" δείχνει το ολικό διαφορικό της σχετικής ποσότητας

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 3



# Πίεση και Θερμοδυναμική Ταυτότητα

Η θερμοδυναμική ταυτότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ληφθεί μια σχέση μεταξύ της πίεσης και της εντροπίας. Εάν η εσωτερική ενέργεια κρατιέται σταθερή, τότε η πίεση μπορεί να εκφραστεί σαν

$$P = T \left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_{U,N}$$

Αυτός ο τύπος υπονοεί ότι κρατάτε την εσωτερική ενέργεια και τον αριθμό των μορίων σταθερά για την λήψη του παραγώγου. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στην έκφραση της εντροπίας ενός μονοατομικού ιδανικού αερίου:

$$S_{\text{ideal gas}} = Nk \left[ \ln \left( \frac{V}{N} \left( \frac{4\pi ml^2}{3Nh^2} \right)^{3/2} \right) + \frac{5}{2} \right] \quad \text{Sackur-Tetrode equation}$$

Προκειμένου να ληφθεί το μερικό παράγωγο αυτού όσον αφορά το  $V$  για να πάρουμε την πίεση, χρησιμοποιούμε τους κανόνες για τους λογαρίθμους των προϊόντων για να εκφράσουμε τον λογάριθμο ως  $\ln(V)$  συν μερικούς άλλους λογαριθμικούς όρους που δεν περιέχουν το  $V$ . Όλοι αυτοί οι άλλοι όροι θα αφαιρεθούν όταν ληφθεί το παράγωγο. Θυμηθείτε ότι ο όρος του  $\ln(V)$  είναι μόνο  $1/V$ . Αυτό μας δίνει:

$$P = T \frac{\partial}{\partial V} (Nk \ln V) = \frac{NkT}{V}$$
$$PV = NkT$$

Αυτή η σχέση είναι ο νόμος των ιδανικών αερίων! Αλλά ο νόμος των ιδανικών αερίων μπορεί να ληφθεί και από τους νόμους του Newton, οι οποίοι δίνουν μια έκφραση για την μέση πίεση ενός αερίου. Αυτό μαζί με την κινητική θερμοκρασία δίνει τον τύπο του νόμου των αερίων. Έτσι, εξετάζοντας το από την άλλη κατεύθυνση, ο νόμος των ιδανικών αερίων προσφέρει την επιβεβαίωση της σχέσης μεταξύ της πίεσης και της εντροπίας.

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

Αρχή  
Εντροπίας

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 3

# Θερμοκρασία της Θερμοδυναμικής Ταυτότητας

Συχνά ο καθορισμός της θερμοκρασίας γίνεται από την άποψη της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων που μετατρέπεται, αυτό καλείται κινητική θερμοκρασία. Ένας εναλλακτικός καθορισμός της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει από την θερμοδυναμική ταυτότητα:

Θερμοδυναμική ταυτότητα:

$$dU = TdS - PdV$$

U = Εσωτερική ενέργεια

S = Εντροπία

V = Όγκος

T = Θερμοκρασία

P = Πίεση

"d" δείχνει το ολικό διαφορικό της σχετικής ποσότητας

Εάν κρατάμε τον όγκο σταθερό, οδηγούμαστε σε μια έκφραση για τη θερμοκρασία ως ένα μερικό παράγωγο της εντροπίας όσον αφορά την εσωτερική ενέργεια .

$$\frac{1}{T} = \left( \frac{\partial S}{\partial U} \right)_{V,N}$$

A definition of temperature

Περισσότερες λεπτομέρειες

Αρχή Εσωτερικής ενέργειας

Αυτός ο καθορισμός υπονοεί ότι κρατάτε και τον όγκο και τον αριθμό των μορίων σταθερά για την λήψη του παραγώγου. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί στην έκφραση για την εντροπία ενός μονοατομικού ιδανικού αερίου:

$$S_{\text{ideal gas}} = Nk \left[ \ln \left( \frac{V}{N} \left( \frac{4\pi mU}{3Nh^2} \right)^{3/2} \right) + \frac{5}{2} \right] \quad \text{Sackur-Tetrode equation}$$

Αρχή Εντροπίας

Αναφορά Schroeder Ch 3

Η λήψη του μερικού παραγώγου όσον αφορά το U για να λάβεις την θερμοκρασία απαιτείται κάποια εξάσκηση με τους λογαρίθμους. Η χρησιμοποίηση των κανόνων για τους λογαρίθμους των προϊόντων επιτρέπει σε μας να εκφράσουμε το λογάριθμο ως  $\ln(U)^{3/2}$  συν μερικούς άλλους όρους λογαρίθμων που δεν περιέχουν το U και επομένως θα αφαιρεθούν όταν λαμβάνεται το παράγωγο. Κατόπιν θυμηθείτε ότι  $\ln(U)^{3/2} = 3/2 \ln(U)$  και ότι ο μερικός παράγωγος του  $\ln(U)$  είναι μόνο  $1/U$ . Αυτό τελικά μας δίνει:

$$\frac{1}{T} = \left( \frac{\partial S}{\partial U} \right)_{V,N} = Nk \frac{\partial}{\partial U} \ln U^{3/2} = \frac{3}{2} Nk \frac{1}{U}$$

$$U = \frac{3}{2} NkT$$

Αυτή η σχέση της εσωτερικής ενέργειας είναι ακριβώς αυτή που λαμβάνεται από την ισοκατανομή της ενέργειας. Δεδομένου ότι η εσωτερική ενέργεια ενός μονοατομικού αερίου είναι ακριβώς η κινητική ενέργεια των μορίων που μετατρέπεται, αυτό είναι σε συμφωνία με την κινητική θερμοκρασία που προαναφέρθηκε, έτσι οι δύο ορισμοί της θερμοκρασίας είναι ισοδύναμοι για αυτήν την περίπτωση.

# Υπολογισμός Ακτινοβολίας

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

$$P = e\sigma A(T^4 - T_c^4)$$

Συζήτηση

$$T_{\text{cold}} = \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= \text{ } \text{K}$$



Ο συντελεστής εκπομπής =  $e$  (e = 1 ιδανικός συντελεστής εκπομπής)

Επιφάνεια ακτινοβολίας =

$$A = \text{ } \times 10^{\text{ }} \text{ m}^2$$

$$T_{\text{hot}} = \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= \text{ } \text{K}$$

$$= \text{ } \text{ m}^2 = \text{ } \text{ cm}^2 = \text{ } \text{ ft}^2$$

$$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \text{ K}^4$$

Ποσοστό ακτινοβολίας =  $\frac{Q}{t} = \text{ } \times 10^{\text{ }} \text{ watts} = \text{ } \text{ watts}$

$$= \text{ } \text{ calories/s} = \text{ } \text{ BTU/hr}$$

Αρχή  
μέλαν  
σώματος

Αρχή  
μεταφορά  
θερμότητας

Μετά από την εισαγωγή των στοιχείων, ένας υπολογισμός μπορεί να γίνει με το τσεκάρισμα στο τονισμένο σύμβολο για την ποσότητα που επιθυμείτε να υπολογίσετε. Μια τιμή για τον συντελεστή εκπομπής μεταξύ 0 και 1 πρέπει να εισαχθεί, με το 1 να αντιπροσωπεύει ένα τέλειο θερμαντικό σώμα. Οι μονάδες για μια δεδομένη ποσότητα θα συμφιλιωθούν όταν εισάγετε τα στοιχεία, αλλά η σχέση δεν θα αναγκαστεί να είναι συνεπής έως ότου τσεκάρετε την ποσότητα που επιθυμείτε να υπολογίσετε.

Μοντελοποιώντας τον χρόνο ψύξης

Μέρος δύναμης μιας περιοχής ενός μήκους κύματος



# Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

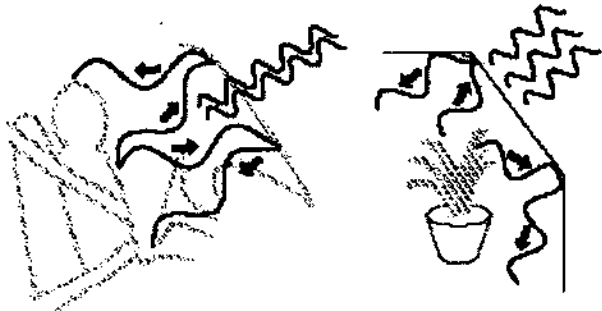
Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου αναφέρεται στις περιστάσεις όπου τα μικρά μήκη κύματος του ορατού φωτός από τον ήλιο περνούν μέσω ενός διαφανούς μέσου και απορροφώνται, αλλά τα πιο μεγάλα μήκη κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα θερμαινόμενα αντικείμενα είναι ανίκανα να περάσουν μέσω εκείνου του μέσου. Η παγίδευση της μεγάλης ακτινοβολίας μήκους κύματος οδηγεί σε περισσότερη θέρμανση και σε μια υψηλότερη επακόλουθη θερμοκρασία. Εκτός από τη θέρμανση ενός αυτοκινήτου από το φως του ήλιου μέσω του μπροστινού παραθύρου και το συνονόματο παράδειγμα της θέρμανσης του θερμοκηπίου από το φως του ήλιου που περνά μέσω των σφραγισμένων, διαφανών παραθύρων, το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για να περιγράψει την παγίδευση της υπερβολικής θερμότητας από την αυξανόμενη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Το διοξείδιο του άνθρακα απορροφά έντονα τις υπέρυθρες ακτίνες και δεν επιτρέπει σε ένα μεγάλο μέρος από αυτές να δραπετεύσει στο διάστημα.

Το φως του ήλιου θερμαίνει το αυτοκίνητό σας

Αυξανόμενο ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα

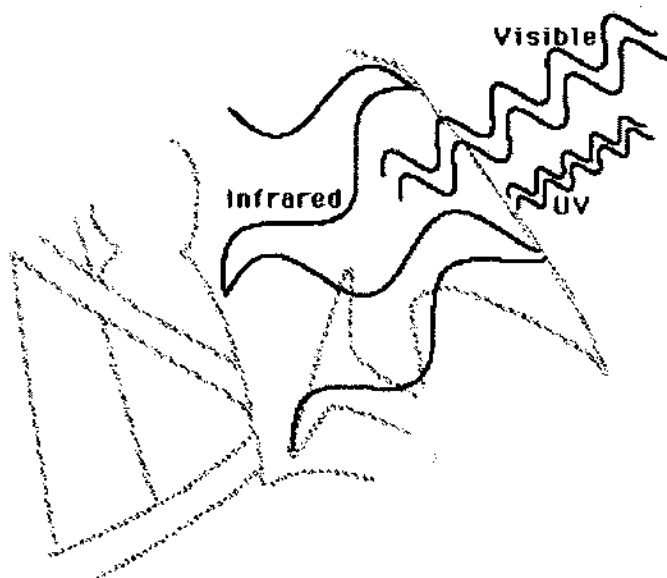
Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου

Ρόλος της έλλειψης νερού στην Αφροδίτη;



# Παράδειγμα του Φαινόμενου του Θερμοκηπίου

Το λαμπρό φως του ήλιου θα θερμάνει αποτελεσματικά το αυτοκίνητό σας μια κρύα, ασυννεφιαστή ημέρα λόγω του φαινόμενου του θερμοκηπίου. Τα πιο μεγάλα υπέρυθρα μήκη κύματος που ακτινοβολούνται από αντικείμενα που έχουν θερμανθεί από τον ήλιο δεν περνούν άμεσα μέσω του γυαλιού. Η παγίδευση αυτής της ενέργειας θερμαίνει το εσωτερικό του οχήματος.



Τα μικρά μήκη κύματος του ορατού φωτός διαβιβάζονται άμεσα μέσω του διαφανούς μπροστινού τζαμιού. (Ειδικά δεν θα είσαστε σε θέση να δείτε μέσω αυτού) Τα μικρότερα κύματα του λαμπρού φωτός μπλοκάρονται περισσότερο από το γυαλί αφού έχουν μεγαλύτερη ενέργεια κβάντουμ η οποία έχει μηχανισμούς απορρόφησης μέσα στο γυαλί. Ακόμα κι όταν αισθάνεστε αρκετά θερμοί με το φωτεινό φως του ήλιου να πέφτει κατευθείαν, δεν θα μαυρίσετε από τον ήλιο.

Περιεχόμενα

Μέλαν σώμα

Υπερφυσική\*\*\*\*\* Θερμοδυναμική

Πήγαινε πίσω

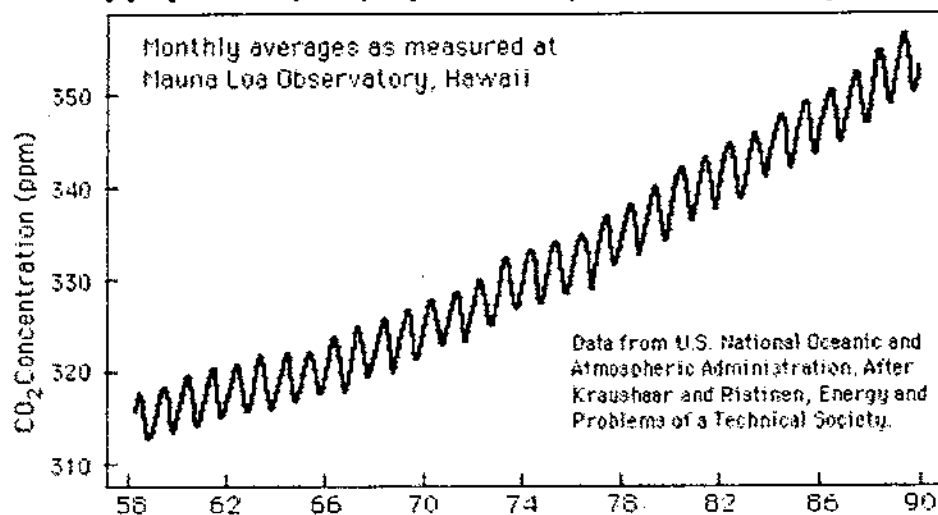
# Αύξηση στα αέρια του Θερμοκηπίου

Η αύξηση στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, ένα από τα τρία σημαντικά στοιχεία που συνεισφέρουν στην ατμόσφαιρα και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει τεκμηριωθεί προσεκτικά στο παρατηρητήριο Mauna Loa στη Χαβάη. Το 1990 το ποσοστό αύξησης ήταν περίπου 0,4% ετησίως. Οι ενδιαφέρουσες κυκλικές παραλλαγές αντιπροσωπεύουν τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα από τη φωτοσύνθεση κατά τη διάρκεια της αυξανόμενης εποχής στο βόρειο ημισφαίριο.

Η τρέχουσα ανάλυση προτείνει ότι η καύση των απολιθωμένων καυσίμων είναι μια σημαντική συνεισφορά στην αύξηση στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, τέτοιες συνεισφορές που είναι από 2 έως 5 φορές η επίδραση της αποδάσωσης (Kraushaar & Ristinen).

Περιεχόμενα

## Αύξηση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του Άνθρακα



Αναφορές  
Kraushaar &  
Ristinen

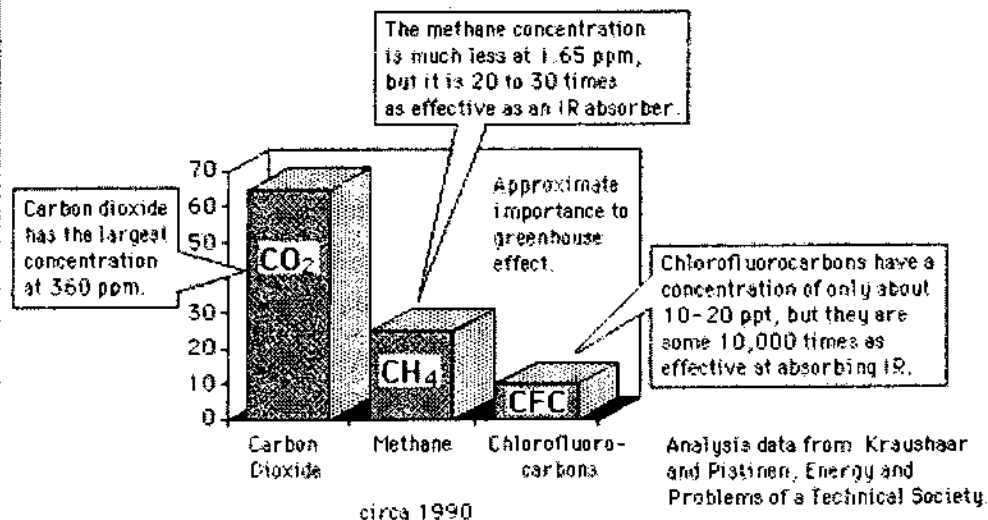
Trefil

Το Trefil εκθέτει τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σήμερα ως 360 μέρη ανά εκατομμύριο έναντι 315 μέρη ανά εκατομμύριο το 1958 όταν άρχισαν οι σύγχρονες μετρήσεις. Οι μετρήσεις των αεροφυσαλίδων που παγιδεύτηκαν σε φλοιό πάγου της Γροιλανδίας δείχνουν συγκεντρώσεις 270 μέρη ανά εκατομμύριο στους προβιομηχανικούς χρόνους.

Υπερφυσική\*\*\*\* Θερμοδυναμική

Πήγαψε  
πίσω

## Συνεισφορές στο Φαινόμενο του Θερμοκηπίου



Περιεχόμενα

Αναφορές Kraushaar & Ristinen

Αύξηση στα αέρια του Θερμοκηπίου Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Υπερφυσική\*\*\*\*\* Θερμοδυναμική

Πήγαινε πίσω

## Παγκόσμια αύξηση της Θερμοκρασίας λόγω του Φαινομένου του Θερμοκηπίου

Ένα ζήτημα σημαντικής ανησυχίας είναι η πιθανή επίδραση του καψίματος των απολιθωμένων καυσίμων και άλλων στοιχείων που συνεισφέρουν στην αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η δράση του διοξειδίου του άνθρακα στην παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας καλείται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μπορεί να αυξήσει τη γενική μέση θερμοκρασία της γης, στην οποία θα μπορούσαν να συμβούν καταστρεπτικές συνέπειες. Μερικές φορές τα αποτελέσματα του φαινομένου του θερμοκηπίου δηλώνονται από την άποψη της ανάκλασης της γης και το γενικό μέσο συντελεστή αντανάκλασης.

Περιεχόμενα

Αναφορές Kraushaar & Ristinen

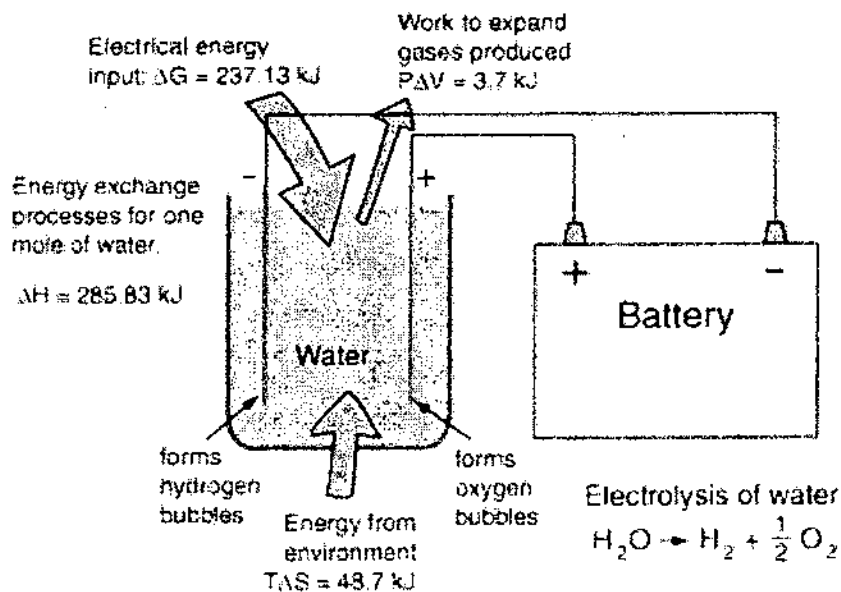
Αύξηση στα αέρια του Θερμοκηπίου Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Υπερφυσική\*\*\*\*\* Θερμοδυναμική

Πήγαινε πίσω

# Ηλεκτρόλυση του Νερού

Με την παροχή ενέργειας από μια μπαταρία, το νερό (H<sub>2</sub>O) μπορεί να χωριστεί στα διατομικά μόρια του υδρογόνου (H<sub>2</sub>) και του οξυγόνου (O<sub>2</sub>). Αυτή η διαδικασία είναι ένα καλό παράδειγμα της εφαρμογής των τεσσάρων θερμοδυναμικών δυναμικών.



Η ηλεκτρόλυση ενός mol νερού παράγει έναν mol αέριου υδρογόνου και ένα μισό-mol αέριου οξυγόνου. Μια λεπτομερής ανάλυση της διαδικασίας χρησιμοποιεί τις θερμοδυναμικές δυναμικών και τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής. Αυτή η διαδικασία θεωρείται να είναι στην πίεση 298K και μιας ατμόσφαιρας πίεσης και οι σχετικές τιμές λαμβάνονται από το πίνακα των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων.

Quantity	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	0.5 O <sub>2</sub>	Change
Enthalpy	-285.83 kJ	0	0	$\Delta H = 285.83 \text{ kJ}$
Entropy	69.91 J/K	130.68 J/K	0.5 x 205.14 J/K	$T\Delta S = 48.7 \text{ kJ}$

Η διαδικασία πρέπει να προσδώσει την ενέργεια για το διαχωρισμό συν την ενέργεια για να εκτονωθούν τα αέρια που παράγονται. Και οι δύο ενέργειες περιλαμβάνονται στην αλλαγή της ενθαλπίας και συμπεριλαμβάνονται στον πίνακα ανωτέρω. Στη θερμοκρασία 298K και σε μία ατμοσφαιρική πίεση, το έργο του συστήματος είναι :

$$W = P\Delta V = (101.3 \times 10^3 \text{ Pa})(1.5 \text{ moles})(22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol})(298\text{K}/273\text{K}) = 3715 \text{ J}$$

Αφού η ενθαλπία  $H = U + PV$ , η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας U είναι τότε

$$\Delta U = \Delta H - P\Delta V = 285.83 \text{ kJ} - 3.72 \text{ kJ} = 282.1 \text{ kJ}$$

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

Αρχή  
Ηλεκτροχημείας

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 5

# Κυψέλες καυσίμου Υδρογόνου

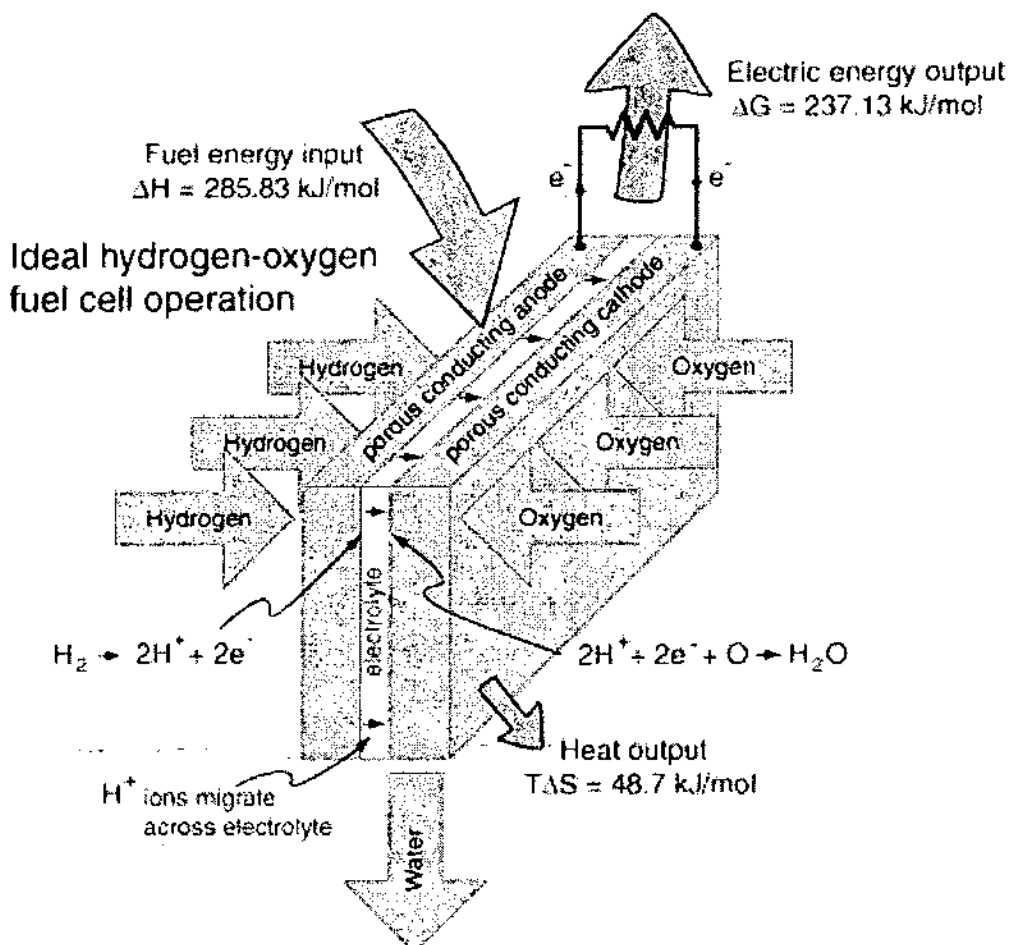
Το υδρογόνο και το οξυγόνο πρέπει να ενωθούν σε μια κυψέλη καυσίμου για να παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια. Μια κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιεί μια χημική αντίδραση ώστε να παρέχει μια εξωτερική τάση, όπως μια μπαταρία, αλλά διαφέρει από μια μπαταρία δεδομένου ότι τα καύσιμα παρέχονται συνεχώς υπό μορφή αερίου υδρογόνου και οξυγόνου. Μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια με υψηλότερη αποδοτικότητα από ότι ακριβώς καίγοντας υδρογόνο για να παραγάγει τη θερμότητα και να λειτουργήσει μια γεννήτρια επειδή η πρώτη δεν υπόκειται στον θερμικό περιορισμό που επιβάλλει ο δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής. Το μόνο προϊόν είναι το νερό, που είναι μη ρυπογόνο. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ανοίγουν ένα ελπιδοφόρο κεφάλαιο για το μέλλον αλλά ακόμα η μέθοδος είναι στο στάδιο της ανάπτυξης (βλ. Kartha και Grimes).

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

Αρχή  
Ηλεκτροχημείας

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 5

Αναφορά  
Kartha &  
Grimes



Η ένωση ενός μορίου αερίου υδρογόνου και ενός μισού-μορίου αερίου οξυγόνου παράγει ένα μόριο νερού. Μια λεπτομερής ανάλυση της διαδικασίας

χρησιμοποιεί τις θερμοδυναμικές δυναμικών. Αυτή η διαδικασία θεωρείται να είναι στην θερμοκρασία 298K και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας, και οι σχετικές τιμές λαμβάνονται από τον πίνακα των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων.

Quantity	H <sub>2</sub>	0.5 O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Change
Enthalpy	0	0	-285.83 kJ	ΔH = -285.83 kJ
Entropy	130.68 J/K	0.5 x 205.14 J/K	69.91 J/K	TΔS = -48.7 kJ

Ενέργεια αποδίδεται από την ένωση των ατόμων και από τη μείωση του όγκου των αερίων. Και οι δύο πηγές περιλαμβάνονται στην μεταβολή της ενθαλπίας που περιλαμβάνεται στον πίνακα ανωτέρω. Στη θερμοκρασία 298K και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας, το έργο του συστήματος είναι :

$$W = P\Delta V = (101.3 \times 10^3 \text{ Pa})(1.5 \text{ moles})(-22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol})(298\text{K}/273\text{K}) = -3715 \text{ J}$$

Αφού η ενθαλπία  $H = U + PV$ , η μεταβολή στην εσωτερική ενέργεια  $U$  είναι τότε

$$\Delta U = \Delta H - P\Delta V = -285.83 \text{ kJ} - 3.72 \text{ kJ} = -282.1 \text{ kJ}$$

Η εντροπία των αερίων μειώνεται κατά 48,7 kJ στο στάδιο της χημικής ένωσης λόγω του ότι ο αριθμός μορίων του νερού είναι μικρότερος από τον αριθμό της ένωσης των μορίων του υδρογόνου και του οξυγόνου. Δεδομένου ότι η συνολική εντροπία δεν θα μειωθεί κατά την αντίδραση, η πρόσθετη εντροπία στο ποσό TΔS πρέπει να αποβληθεί στο περιβάλλον ως θερμότητα σε θερμοκρασία T. Το ποσό ενέργειας ανά mol υδρογόνου που μπορεί να δοθεί προς τα έξω ως ηλεκτρική ενέργεια είναι η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας του Gibbs:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -285.83 \text{ kJ} + 48.7 \text{ kJ} = -237.1 \text{ kJ}$$

Για αυτήν την ιδανική περίπτωση, η ενέργεια καυσίμων μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με βαθμό απόδοσης  $237.1/285.8 \times 100\% = 83\%$ ! Αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από τον ιδανικό βαθμό απόδοσης μιας παραγωγικής εγκατάστασης που έκαψε το υδρογόνο και χρησιμοποίησε τη θερμότητα για να τροφοδοτήσει μια γεννήτρια (ο βαθμός απόδοσης μιας θερμοηλεκτρικής μονάδας που βασίζεται στην καύση οποιουδήποτε καυσίμου δεν ξεπερνά το 30%). Αν και οι πραγματικές κυψέλες καυσίμου δεν πλησιάζουν αυτόν τον ιδανικό βαθμό απόδοσης, είναι πιο αποδοτικές από οποιεσδήποτε εγκαταστάσεις ηλεκτρικής παραγωγής ενέργειας που βασίζεται στην καύση κάποιου καυσίμου.

### Σύγκριση της ηλεκτρόλυσης και των κυψελών καυσίμου

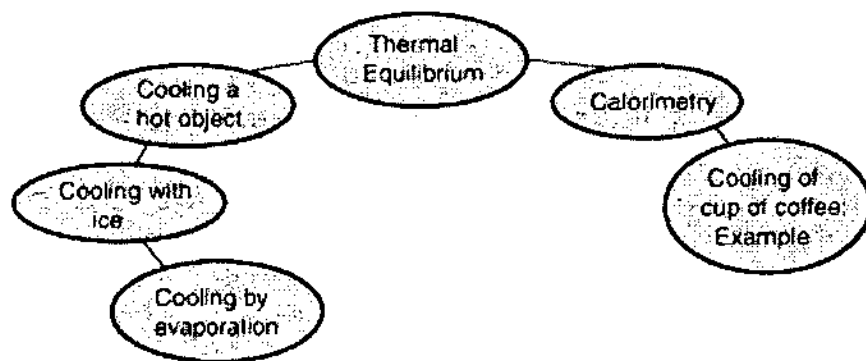
Στη σύγκριση των κυψελών καυσίμου με την αντίστροφη διαδικασία, την ηλεκτρόλυση του νερού, είναι χρήσιμο να θέσουμε την μεταβολή της ενθαλπίας ως γενική ενεργειακή μεταβολή. Η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs είναι αυτή που πρέπει πραγματικά να προσδοθεί για να συμβεί μια αντίδραση, ή το ποσό που μπορείτε πραγματικά να πάρετε εάν η αντίδραση λειτουργεί για

σας. Έτσι, στο ζευγάρι κυψελών καυσίμου όπου η αλλαγή ενθαλπίας είναι 285,8 kJ, πρέπει να προσδώσουμε 237 kJ της ενέργειας για να συμβεί ηλεκτρόλυση και η θερμότητα από το περιβάλλον θα συμβάλει το  $T\Delta S=48.7$  kJ για να σας βοηθήσει. Από τις κυψέλες καυσίμου, εσείς μπορείτε να πάρετε 237 kJ ως ηλεκτρική ενέργεια, αλλά πρέπει να απορρίψετε το  $T\Delta S = 48,7$  kJ στο περιβάλλον.



# Θερμική Ισορροπία

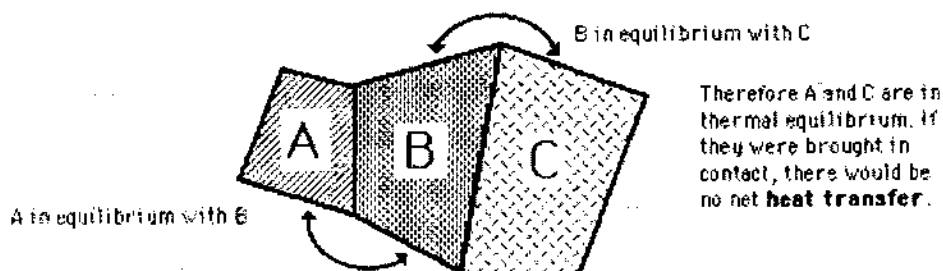
Παρατηρείται ότι ένα αντικείμενο με υψηλή θερμοκρασία που είναι σε επαφή με ένα αντικείμενο χαμηλότερης θερμοκρασίας θα μεταφέρει θερμότητα στο αντικείμενο χαμηλότερης θερμοκρασίας. Τα αντικείμενα θα φθάσουν στην ίδια θερμοκρασία, και λόγω έλλειψης άλλων αντικειμένων, θα διατηρήσουν έπειτα σταθερή θερμοκρασία. Τότε λέμε ότι είναι σε θερμική ισορροπία. Η θερμική ισορροπία αποτελεί το αντικείμενο του Μηδενικού Νόμου της Θερμοδυναμικής.



Αρχή μεταφοράς θερμότητας

# Μηδενικός Νόμος της Θερμοδυναμικής

Ο "μηδενικός νόμος" καταστεί ότι εάν δυο συστήματα είναι σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο σύστημα την ίδια χρονική στιγμή, αυτά είναι σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους.



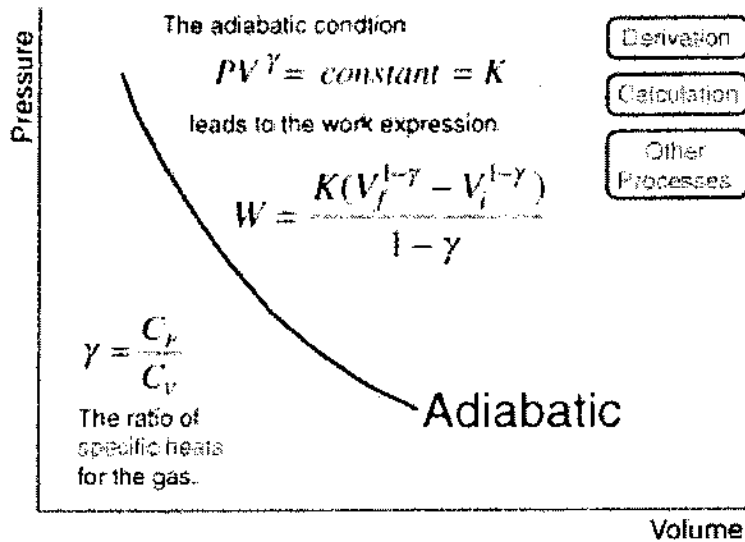
Αρχή μεταφοράς θερμότητας

Εάν το A είναι σε θερμική ισορροπία με το B και το C είναι σε θερμική

ισορροπία με το Β, τότε το Α είναι σε θερμική ισορροπία και με το C. Ουσιαστικά αυτό σημαίνει ότι και τα τρία συστήματα είναι στην ίδια Θερμοκρασία και αυτό αποτελεί τη βάση για τη σύγκριση των θερμοκρασιών. Ονομάζεται έτσι επειδή προηγείται λογικά του Πρώτου και του Δεύτερου Νόμου της Θερμοδυναμικής .

# Αδιαβατική Διαδικασία

Μια αδιαβατική διεργασία είναι αυτή κατά την οποία θερμότητα δεν κερδίζεται ούτε χάνεται από το σύστημα. Ο πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής με  $Q=0$  δείχνει ότι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ισούται με το έργο που εκτελείται. Αυτό βάζει ένα περιορισμό στη διαδικασία της θερμικής μηχανής που οδηγεί στην αδιαβατική κατάσταση που φαίνεται παρακάτω. Αυτή η κατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να εξάγει την έκφραση για το έργο που εκτελείται (παράγεται-καταναλώνεται) κατά την διάρκεια μιας αδιαβατικής διεργασίας.



Αρχή  
Θερμικής  
Μηχανής

Ο λόγος των ειδικών θερμότητων  $\gamma = C_p/C_v$  είναι ένας παράγοντας που προσδιορίζει την ταχύτητα του ήχου μέσα σε ένα αέριο και σε άλλες αδιαβατικές διαδικασίες όπως επίσης και μία εφαρμογή στις θερμικές μηχανές. Ο λόγος  $\gamma = 1.66$  για ένα ιδανικό μονοατομικό αέριο και  $\gamma = 1.4$  για τον αέρα, ο οποίος θεωρείται ένα διατομικό αέριο.

# Αδιαβατική Διαδικασία

The work integral  $W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$  under the constraint of the

adiabatic condition  $PV^\gamma = \text{constant} = K$

Derive the  
adiabatic condition

becomes  $W = K \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V^\gamma}$

Integrating yields:

$$W = \frac{K(V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma})}{1-\gamma}$$

Pressure

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

The ratio of  
specific heats  
for the gas.

Adiabatic

Volume

Discussion

Calculation

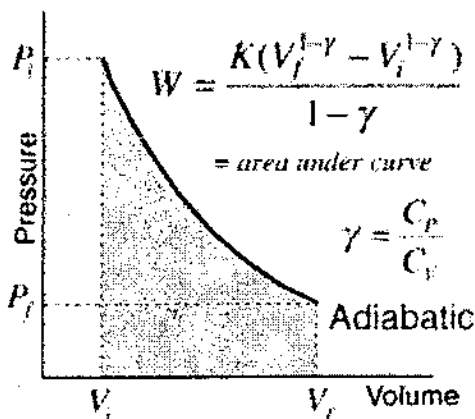
Other  
Processes

Αρχή  
Θερμικής  
Μηχανής

# Αδιαβατική Διαδικασία

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής



Για ένα ιδανικό αέριο που αποτελείται από  $n = \sqrt{\quad}$  moles ενός αερίου, θεωρούμε μια αδιαβατική διαδικασία που περιλαμβάνει εκτόνωση από

$$V_1 = \sqrt{\quad} \text{ m}^3$$

$$σε = V_2 = \sqrt{\quad} \text{ m}^3$$

αρχική θερμοκρασία  $T_1 = \sqrt{\quad} \text{ K}$

Σημείωση: Εάν ο αρχικός όγκος ή η θερμοκρασία αλλάξουν, μία νέα τιμή της πίεσης θα υπολογιστεί ώστε να αντιστοιχεί στον αριθμό των moles του αερίου παραπάνω.

Με τον αρχικό όγκο και την θερμοκρασία καθορισμένη, η αρχική πίεση είναι προσδιορισμένη από τον νόμο των ιδανικών αερίων:

Χρησιμοποιώντας  $P = \frac{nRT}{V}$ ,  $P_1 = \sqrt{\quad} \text{ kPa} = \sqrt{\quad} \times 10^{\sqrt{\quad}} \text{ Pa}$

( Σημείωση: Εάν η αρχική τιμή της πίεσης είναι αλλαγμένη, τότε μια νέα τιμή των moles θα υπολογιστεί ώστε να είναι σύμφωνη με τον αρχικό όγκο και την θερμοκρασία που καθορίζονται παραπάνω. Εάν επιθυμείτε να περιορίσετε τον αριθμό των moles σε δικά σας είδη τιμών, τότε εισάγετε τις τιμές προσθέτοντας τιμές για τον αρχικό όγκο και τη θερμοκρασία - η απαιτούμενη πίεση θα υπολογιστεί. )

Η λεπτομερής συμπεριφορά της πίεσης και του όγκου εξαρτάται από τις ειδικές θερμότητες του αερίου:

Σταθερή πίεση  $C_p = \sqrt{\quad} \text{ J/mol K}$   $R = C_p - C_v$

Σταθερός όγκος  $C_v = \sqrt{\quad} \text{ J/mol K}$

Οι ειδικές θερμότητες καθορίζουν τον λόγο  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \sqrt{\quad}$

Σημειώστε ότι οι συνιθέστερες τιμές για τα αέρια είναι:  $\gamma_{\text{αέρας}} = 1.4$  και  $\gamma_{\text{μονοατομικό αέριο}} = 1.66$ .

Η αδιαβατική κατάσταση μπορεί να εφαρμοστεί ώστε να καθορίσει την σταθερά  $K$ .

$$PV^\gamma = K = \sqrt{\quad}$$

Το έργο που εκτελείται από το αέριο μπορεί να καθοριστεί. Εάν ο τελικός όγκος είναι μικρότερος από τον αρχικό, τότε το έργο προσφέρεται στο αέριο και το έργο θα είναι αρνητικό.

$$W = \frac{K(V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma})}{1-\gamma} = \sqrt{\quad} \text{ J} = \sqrt{\quad} \times 10^\wedge{\sqrt{\quad}} \text{ J}$$

Η τελική πίεση για την διαδικασία μπορεί να καθοριστεί από την αδιαβατική κατάσταση:

$$P_f = \sqrt{\quad} \text{ kPa} = \sqrt{\quad} \times 10^\wedge{\sqrt{\quad}} \text{ Pa}$$

Και η τελική θερμοκρασία μπορεί να ληφθεί από τον νόμο των ιδανικών αερίων.

$$T_f = \sqrt{\quad} \text{ K}$$

Η καθορισμένη αρχική θερμοκρασία για τον υπολογισμό του έργου πρέπει να είναι σε Kelvin, έτσι πρέπει να μετατραπεί αν δίνεται σε άλλες μονάδες θερμοκρασίας.

$$T_i = \sqrt{\quad} \text{ K} = \sqrt{\quad} \text{ }^\circ\text{C} = \sqrt{\quad} \text{ }^\circ\text{F}$$

Συζήτηση της αδιαβατικής διαδικασίας

# Ανάπτυξη της Αδιαβατικής Διαδικασίας

The difference form of the ideal gas law  $PV=nRT$  is  $P\Delta V + V\Delta P = nR\Delta T$

Since  $Q=0$  for the adiabatic case, the first law of thermodynamics

becomes  $\Delta U = -P\Delta V$

and the expression for specific heat  $C_v = \frac{1}{n} \frac{\Delta U}{\Delta T}$  leads to  $n\Delta T = \frac{-P}{C_v} \Delta V$

Using  $R = C_p - C_v$ , the gas law gives

$$n\Delta T = \frac{P\Delta V + V\Delta P}{C_p - C_v} = \frac{-P}{C_v} \Delta V$$

With rearrangement this becomes  $\frac{\Delta P}{P} + \frac{C_p}{C_v} \frac{\Delta V}{V} = 0$

The limit  $\frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$  can be integrated to give

$$\ln(P) + \gamma \ln(V) = \text{constant}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Using log combination rules, this can be rearranged to  $\ln(PV^\gamma) = \text{constant}$

and therefore  $PV^\gamma = \text{constant}$  which may be called the adiabatic condition.

Αφού η αδιαβατική σταθερά  $\gamma$  για ένα αέριο είναι ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων όπως δείχθηκε παραπάνω, εξαρτάται από τον πραγματικό αριθμό των βαθμών ελευθερίας μέσα στη μοριακή κίνηση. Αυτή μπορεί στη πραγματικότητα να εκφραστεί σαν  $\gamma = (f+2)/f$  όπου το  $f$  είναι ο αριθμός των βαθμών της ελευθερίας μέσα στη μοριακή κίνηση. Για ένα μονοατομικό αέριο όπως το ήλιο είναι  $f=3$  και  $\gamma = 5/3$ . Για ένα διατομικό μόριο όπως τα  $N_2$  και  $O_2$ , συμπεριλαμβάνουμε δυο βαθμούς από την περιστροφική ελευθερία, έτσι  $f=5$  και  $\gamma = 1.4$ . Αφού όλη σχεδόν η ατμόσφαιρα είναι άζωτο και οξυγόνο, το  $\gamma = 1.4$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον αέρα σε τέτοιους υπολογισμούς όπως η ταχύτητα του ήχου. Για τα πολυατομικά μόρια, υπάρχουν τρεις βαθμοί της περιστροφικής ελευθερίας και αυτό μαζί με τους τρεις μεταφορικούς βαθμούς ελευθερίας (κίνηση στον τρισδιάστατο χώρο) θα δώσει  $\gamma = 4/3$ . Αλλά στις ειδικές θερμοότητες των πολυατομικών μορίων, υπάρχει ένδειξη της συνεισφοράς των βαθμών ελευθερίας λόγω ταλάντωσης, και αυτό θα ελάττωνε περισσότερο την τιμή της  $\gamma$ .

Συζήτηση για την αδιαβατική διαδικασία

Αρχή  
Θερμικής  
Μηχανής

# Η Θερμοδυναμική Ταυτότητα

Μια χρήσιμη συνοπτική σχέση αποκαλούμενη θερμοδυναμική ταυτότητα χρησιμοποιεί τη δύναμη του υπολογισμού και ιδιαίτερα τις μερικές παραγώγους. Μπορεί να εφαρμοστεί για να εξεταστούν οι διαδικασίες στις οποίες μια ή περισσότερες καταστατικές μεταβλητές κρατούνται σταθερές π.χ., το σταθερό όγκο, τη σταθερή πίεση, κλπ.... Η θερμοδυναμική ταυτότητα ισχύει για οποιαδήποτε άπειρη μικρή ή μεγάλη μεταβολή σε ένα σύστημα τόσο στην πίεση όσο και στη θερμοκρασία. Θεωρείται ότι ο αριθμός των μορίων είναι σταθερός (δηλ., εξετάζετε το ίδιο σύστημα πριν και μετά από την μεταβολή).

Θερμοδυναμική ταυτότητα:

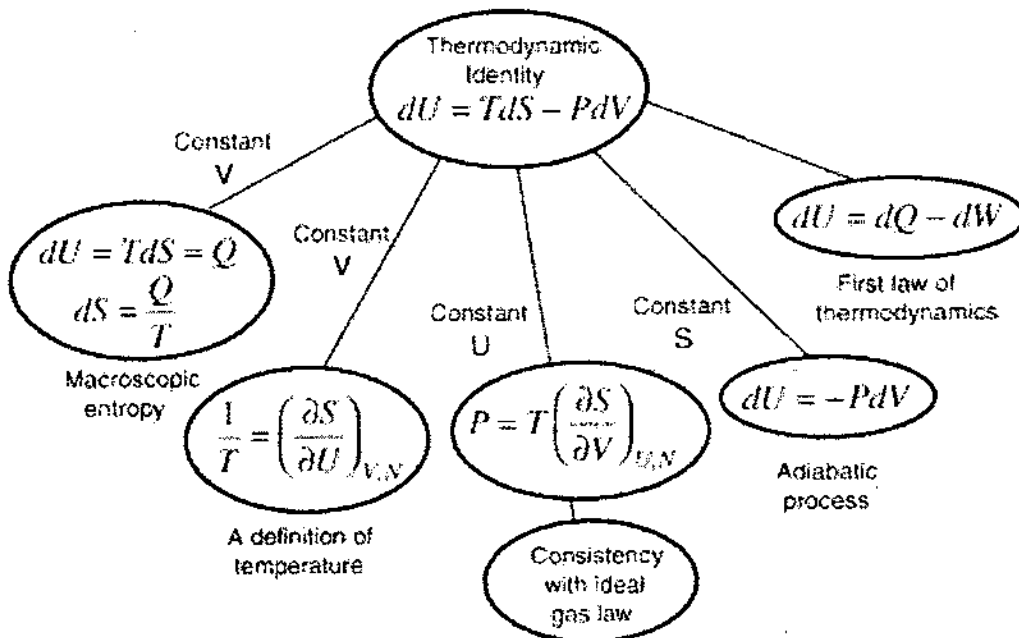
$$dU = TdS - PdV$$

- U = Εσωτερική ενέργεια
- S = Εντροπία
- V = Όγκος
- T = Θερμοκρασία
- P = Πίεση

"d" δείχνει το ολικό διαφορικό της σχετικής ποσότητας

Αρχή  
Εσωτερικής  
ενέργειας

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 3





# Ενθαλπία

Τέσσερις ποσότητες αποκαλούμενες "Θερμοδυναμικά δυναμικά" είναι χρήσιμες στη χημική θερμοδυναμική των αντιδράσεων και των μη-κυκλικών διαδικασιών. Αυτές είναι η εσωτερική ενέργεια, η ενθαλπία, η ελεύθερη ενέργεια Helmholtz και η ελεύθερη ενέργεια Gibbs. Η ενθαλπία καθορίζεται από :

$$H = U + PV$$

όπου το P και τα V είναι η πίεση και ο όγκος, και το U είναι η εσωτερική ενέργεια. Η ενθαλπία είναι έπειτα μια ακριβώς μετρήσιμη καταστατική μεταβολή, δεδομένου ότι καθορίζεται από την άποψη τριών άλλων καταστατικών μεταβλητών. Για ένα σύστημα σταθερής πίεσης μια παράλληλη έκφραση του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής είναι :

$$Q = \Delta U + P\Delta V \text{ αφού σε αυτή την περίπτωση } Q = \Delta H$$

Η Ενθαλπία είναι μια χρήσιμη ποσότητα για τους υπολογισμούς σε χημικές αντιδράσεις. Εάν ως αποτέλεσμα μιας εξωθερμικής αντίδρασης κάποια ενέργεια απελευθερώνεται σε ένα σύστημα, πρέπει να εμφανιστεί με κάποια μετρήσιμη μορφή στις καταστατικές μεταβλητές. Μια αύξηση στην ενθαλπία  $H = U + PV$  μπορεί να συνδεθεί με μια αύξηση στην εσωτερική ενέργεια που θα μπορούσε να μετρηθεί από καλορίμετρο, ή με έργο που εκτελέστηκε από το σύστημα, ή με έναν συνδυασμό των δύο.

Αρχή  
Εσωτερικής  
Ενέργειας

Η Εσωτερική ενέργεια U μπορεί να θεωρηθεί ως ενέργεια που απαιτήθηκε για να δημιουργήσει ένα σύστημα χωρίς να συμβούν αλλαγές στη θερμοκρασία ή στον όγκο. Αλλά εάν κατά την διαδικασία αλλάξει ο όγκος, όπως σε μια χημική αντίδραση που παράγει ένα αέριο προϊόν, τότε έργο πρέπει να παραχθεί ώστε να επιφέρει αλλαγή στον όγκο. Για μια ισοβαρής διαδικασία το έργο που πρέπει να κάνετε για να επιφέρετε μια αλλαγή όγκου  $\Delta V$  είναι  $P\Delta V$ . Τότε ο όρος PV μπορεί να ερμηνευθεί ως έργο που πρέπει να εκτελεστεί για "να δημιουργήσετε χώρο" για το σύστημα εάν θεωρείτε ότι ξεκίνησε από μηδέν όγκο.

Πίνακας των μεταβολών στην ενθαλπία

# Έργο Συστήματος

Όταν εκτελείται έργο από ένα θερμοδυναμικό σύστημα, είναι συνήθως ένα αέριο που παράγει έργο. Το έργο που εκτελείται από ένα αέριο σε σταθερή πίεση είναι :

$$W = P\Delta V$$

Παράδειγμα

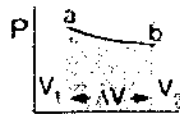


The line from a to b represents an expansion of a gas at constant pressure. The work done is the area under the curve.

Για την μη-σταθερή πίεση, το έργο μπορεί να απεικονιστεί ως η περιοχή κάτω από την καμπύλη πίεσης-όγκου που αντιπροσωπεύει την πραγματοποίηση της διαδικασίας. Η γενικότερη έκφραση για το έργο είναι :

The integral expression gives the exact area under the curve which is equal to the work

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

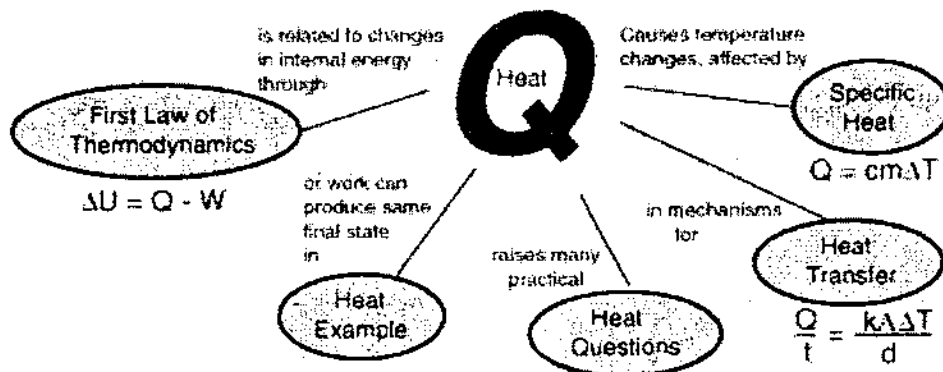


Το έργο που εκτελείται από ένα σύστημα μειώνει την εσωτερική ενέργεια του συστήματος, όπως υποδεικνύεται στον Πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής. Το Έργο Συστήματος είναι μια σημαντική εστίαση στη συζήτηση των θερμικών μηχανών .

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

# Θερμότητα

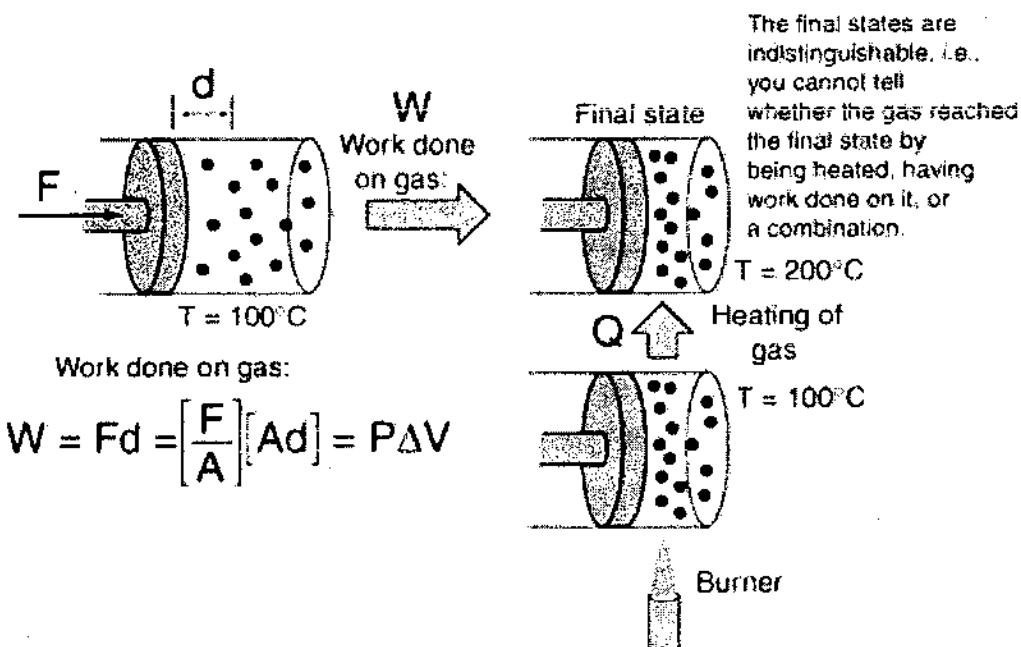
Η θερμότητα μπορεί να οριστεί ως η ενέργεια κατά τη μεταφορά από ένα υψηλής θερμοκρασίας αντικείμενο σε ένα αντικείμενο χαμηλότερης θερμοκρασίας. Ένα αντικείμενο δεν κατέχει "θερμότητα" ο κατάλληλος όρος για τη μικροσκοπική ενέργεια σε ένα αντικείμενο είναι η εσωτερική ενέργεια. Η εσωτερική ενέργεια μπορεί να αυξηθεί με τη μεταφορά ενέργειας στο αντικείμενο από ένα υψηλότερης θερμοκρασίας (πιο ζεστό) αντικείμενο - αυτό καλείται ορθά θέρμανση.



Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

# Παράδειγμα Θερμότητας και Έργου



Αρχή  
Εσωτερικής  
Ενέργειας

Αυτό το παράδειγμα της εναλλαξιμότητας της θερμότητας και του έργου ως φορείς αύξησης της ενέργειας σε ένα σύστημα μπορούν να βοηθήσουν στο να ξεδιαλύνουν μερικές παρερμηνείες για τη θερμότητα. Μια βασική ιδέα από αυτό το παράδειγμα, είναι ότι εάν εξετάσετε ένα αέριο με υψηλή θερμοκρασία, δεν μπορείτε να πείτε εάν έφθασε σε αυτή την υψηλή θερμοκρασία με θέρμανση, ή επειδή κατανάλωσε έργο, ή ενός συνδυασμού των δύο.

Για να περιγραφεί η ενέργεια που έχει ένα αντικείμενο υψηλής θερμοκρασίας, δεν είναι σωστή η χρήση της λέξης θερμότητα για να πούμε ότι το αντικείμενο "κατέχει θερμότητα" - είναι καλύτερο να ειπωθεί ότι κατέχει εσωτερική ενέργεια ως αποτέλεσμα της μοριακής κίνησής του. Η λέξη θερμότητα χρησιμοποιείται καλύτερα στο να περιγράψει τη διαδικασία της μεταφοράς ενέργειας από ένα αντικείμενο υψηλής θερμοκρασίας σε ένα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Σίγουρα μπορείτε να πάρετε ένα αντικείμενο με χαμηλή εσωτερική ενέργεια και να την αυξήσετε σε υψηλότερη εσωτερική ενέργεια με θέρμανσή του. Αλλά μπορείτε επίσης να αυξήσετε την εσωτερική του ενέργειά με το να προσφέρετε έργο σε αυτό, και δεδομένου ότι η εσωτερική ενέργεια ενός αντικείμενου υψηλής θερμοκρασίας υπάρχει εξαιτίας της τυχαίας κίνησης των μορίων, δεν μπορείτε να πείτε ποιος μηχανισμός χρησιμοποιήθηκε για να του δώσει αυτήν την ενέργεια.

Αναφορά  
Zemansky

Προειδοποιώντας το ίδιο περίπου δασκάλους και μαθητές οι παγίδες της κακής χρήσης της λέξης "θερμότητα", ο Mark Zemansky συμβουλεύει :

Μην αναφερθείτε στη "θερμότητα σε ένα σώμα", ή πείτε "αυτό το αντικείμενο έχει διπλάσια θερμότητα απ' ό,τι εκείνο το σώμα". Αντιτίθεστε επίσης στη χρήση του ασαφούς όρου "θερμική ενέργεια" και στη χρήση της

λέξης "θερμαίνω" ως ρήμα, επειδή ταΐζουν τις παρερμηνείες, βέβαια είναι λίγο δύσκολο να αποφευχθούν αυτοί οι όροι. Θα ήταν προτιμότερο η χρήση της έννοιας της εσωτερικής ενέργειας .

Ο Πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής προσδιορίζει και τη θερμότητα και το έργο ως μεθόδους μεταφοράς ενέργειας που μπορούν να επιφέρουν μια μεταβολή στην εσωτερική ενέργεια ενός συστήματος. Μετά από αυτό, ούτε οι λέξεις έργο ή θερμότητα έχουν οποιαδήποτε χρησιμότητα στην περιγραφή της τελικής κατάστασης του συστήματος - μπορούμε να μιλήσουμε μόνο για την εσωτερική ενέργεια του συστήματος.

Μηχανικό ισοδύναμο της  
θερμότητας

Πρώτος νόμος της  
Θερμοδυναμικής

Υπολογισμός

## Μηχανικό ισοδύναμο της Θερμότητας

Η ροή Θερμότητας και το έργο είναι και τα δύο τρόποι μεταφοράς ενέργειας. Όπως διευκρινίζεται στο παράδειγμα θερμότητας και έργου, η θερμοκρασία ενός αερίου μπορεί να αυξηθεί είτε θερμαίνοντας το, είτε προσδίδοντας τους έργο, ή με συνδυασμό των δύο.

Σε ένα κλασικό πείραμα το 1843, ο James Joule παρουσίασε την ενεργειακή ισοδυναμία της θέρμανσης και της εκτέλεσης έργου με τη χρησιμοποίηση της μεταβολής στην δυναμική ενέργεια κάποιων μαζών που πέφτουν για να ανακατώσουν ένα μονωμένο δοχείο νερού. Οι προσεκτικές μετρήσεις παρουσίασαν αύξηση στη θερμοκρασία του νερού και μάλιστα να είναι ανάλογη προς τη μηχανική ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για να ανακατώσει το νερό. Εκείνη την περίοδο οι θερμίδες (calories) ήταν η αποδεκτή μονάδα της θερμότητας και τα joules έγιναν η αποδεκτή μονάδα της μηχανικής ενέργειας. Η σχέση τους είναι :

Αρχή  
Εσωτερικής  
Ενέργειας

$$1 \text{ calorie} = 4.1868 \text{ joules}$$

Πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής

# Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής είναι εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας σε θερμικές και θερμοδυναμικές διαδικασίες :

The change in internal energy of a system is equal to the heat added to the system minus the work done by the system.

$$\Delta U = Q - W$$

Change in  
internal  
energy

Heat added  
to the system

Work done  
by the system

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

Ο πρώτος νόμος χρησιμοποιεί τις βασικές έννοιες των εσωτερική ενέργεια, θερμότητα, και έργο ενός συστήματος. Χρησιμοποιείται εκτενώς στη συζήτηση των θερμικών μηχανών.

Είναι τυπικό στα κείμενα χημείας να γράφεται ο πρώτος νόμος ως  $\Delta U = Q + W$ . Είναι ο ίδιος νόμος, φυσικά - η θερμοδυναμική έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Αυτό οφείλεται στο ότι το  $W$  ορίζεται ως το έργο που παράγεται στο σύστημα αντί του έργου που παράγεται από το σύστημα. Στα πλαίσια της φυσικής, το κοινό σενάριο είναι ένα με την πρόσδοση θερμότητας σε έναν όγκο αερίου και χρησιμοποίησης της εκτόνωσης θερμότητας εκείνου του αερίου για να παράγει έργο, όπως στην προς τα κάτω ώθηση ενός εμβόλου σε μια μηχανή εσωτερικής καύσεως.

Η Εσωτερική ενέργεια στη θερμοδυναμική ταυτότητα

# Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής είναι μια γενική αρχή που τοποθετεί περιορισμούς επάνω στην κατεύθυνση της μεταφοράς θερμότητας και τους εφικτούς βαθμούς απόδοσης των θερμικών μηχανών. Με αυτές τις ενέργειες, υπερβαίνονται οι περιορισμοί που επιβάλλονται από τον πρώτο νόμο της Θερμοδυναμικής. Οι επιπτώσεις τους μπορούν να απεικονιστούν από την άποψη του λόγου των υψών.

Δηλώσεις  
Δεύτερου  
Νόμου

Θερμική  
μηχανή

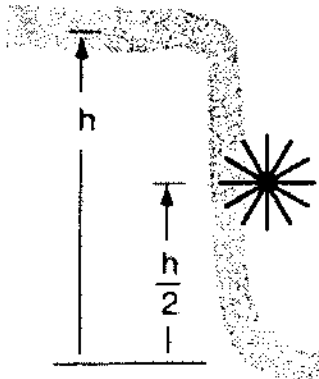
Ψυγείο

Εντροπία

Μεταφορά  
Θερμότητας

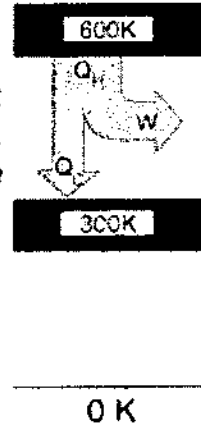
Αρχή  
Δεύτερου  
Νόμου

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής



If you are constrained to put your waterwheel half-way up the waterfall, then you can extract at most half of the available energy.

If a 600K heat engine must exhaust heat at 300K, then it can be at most 50% efficient.



Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης που μπορεί να επιτευχθεί είναι ο βαθμός απόδοσης του Carnot.

Ποιοτικές δηλώσεις του δεύτερου νόμου της Θερμοδυναμικής

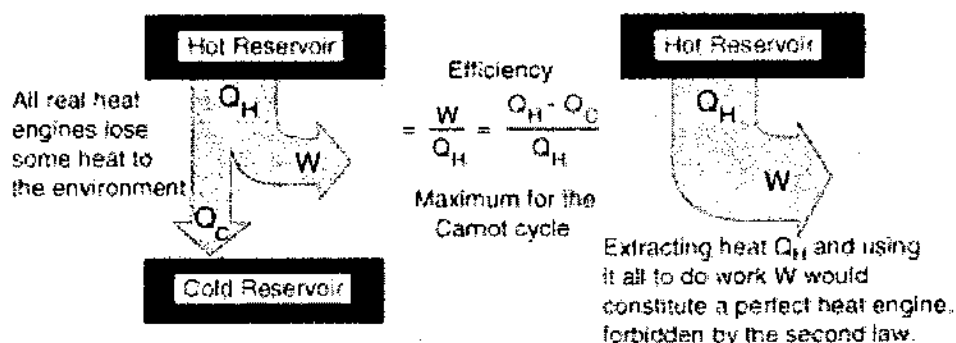
## Δεύτερος Νόμος: Θερμικές Μηχανές

Δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής : Είναι αδύνατο να εξαχθεί ένα ποσό θερμότητας  $Q_H$  από ένα θερμοδοχείο και να χρησιμοποιηθεί όλο για να παράγει έργο  $W$ . Κάποιο ποσό θερμότητας  $Q_C$  πρέπει να εξαντληθεί σε ένα ψυχοδοχείο. Αυτό αποκλείει την ύπαρξη μιας τέλειας θερμικής μηχανής.

Αυτό καλείται μερικές φορές η " πρώτη μορφή " του δεύτερου νόμου, και αναφέρεται ως δήλωση των Kelvin- Planck του δεύτερου νόμου.

Αρχή  
Δεύτερου  
Νόμου

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής



Εναλλακτικές δηλώσεις: Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής

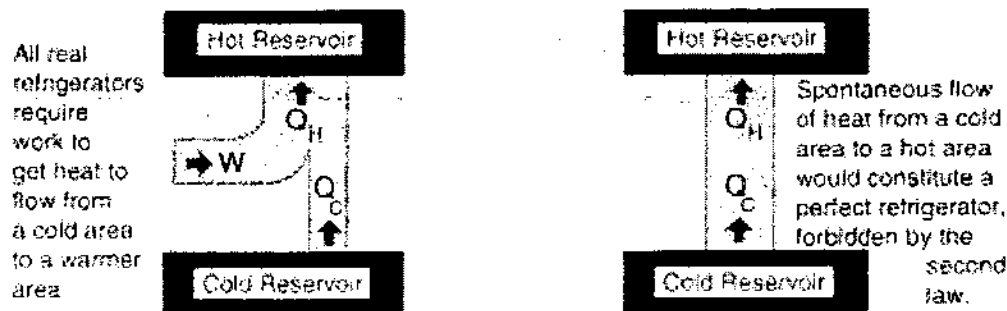
## Δεύτερος Νόμος: Ψυγείο

Δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής: Δεν είναι δυνατό θερμότητα να ρεύσει από ένα πιο κρύο σώμα σε ένα θερμότερο σώμα χωρίς οποιoδήποτε έργο που έχει εκτελεστεί να πραγματοποιήσει αυτήν την ροή . Η ενέργεια δεν θα ρεύσει αυθόρμητα από ένα αντικείμενο χαμηλής θερμοκρασίας σε ένα αντικείμενο υψηλότερης θερμοκρασίας. Αυτό αποκλείει ένα τέλειο ψυγείο. Οι δηλώσεις για τα ψυγεία ισχύουν για τα κλιματιστικά μηχανήματα και τις αντλίες θερμότητας, τα οποία ενσωματώνουν τις ίδιες αρχές.

Αυτό είναι η " δεύτερη μορφή " ή η δήλωση του Clausius του δεύτερου νόμου.

Αρχή  
Δεύτερου  
Νόμου

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

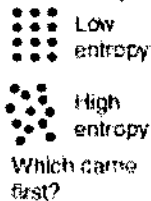


Εναλλακτικές δηλώσεις: Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής



# Δεύτερος Νόμος: Εντροπία

Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής: Σε οποιαδήποτε κυκλική διαδικασία η εντροπία είτε θα αυξηθεί είτε θα παραμείνει η ίδια.

<u>Εντροπία:</u>	μια καταστατική μεταβλητή της οποίας η μεταβολή καθορίζεται για μια αντιστρεπτή διαδικασία στην $T$ όπου η $Q$ είναι η θερμότητα που απορροφάται.	$\Delta S = \frac{Q}{T}$ 
<u>Εντροπία:</u>	ένα μέτρο του ποσού ενέργειας που δεν είναι διαθέσιμο να παράγει έργο.	
<u>Εντροπία:</u>	ένα μέτρο της αναταραχής ενός συστήματος.	
<u>Εντροπία:</u>	ένα μέτρο της πολλαπλότητας ενός συστήματος.	

Αρχή  
Δεύτερου  
Νόμου

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

Αρχή  
Εντροπίας

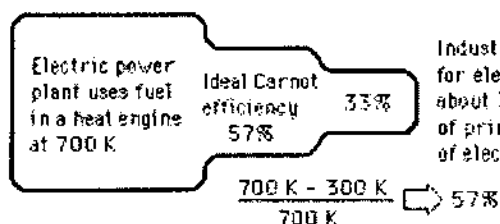
Δεδομένου ότι η εντροπία δίνει πληροφορίες για την εξέλιξη ενός απομονωμένου συστήματος συναρτήσει του χρόνου, λέγεται ότι μας δίνει την κατεύθυνση του "χρονικού βέλους". Εάν τα στιγμιότυπα ενός συστήματος σε δύο διαφορετικές στιγμές παρουσιάζουν μια κατάσταση η οποία είναι πιο διαταραγμένη, τότε θα μπορούσε να υπονοηθεί ότι αυτή η κατάσταση ήρθε αργότερα εγκαίρως. Για ένα απομονωμένο σύστημα, η φυσική πορεία των γεγονότων οδηγεί το σύστημα σε μια πιο διαταραγμένη (υψηλότερη εντροπία) κατάσταση.

Εναλλακτικές δηλώσεις: Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Τα Βιολογικά συστήματα είναι ιδιαίτερα τακτοποιημένα. Πως αυτό

## Θερμικός Περιορισμός

Εάν ο πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής λέει ότι δεν μπορείτε να νικήσετε, τότε ο δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής λέει ότι δεν μπορείτε ούτε να έρθετε ισοπαλία. Ο πρώτος νόμος είναι ουσιαστικά μια δήλωση της Αρχής διατήρησης της ενέργειας και βεβαιώνει ότι δεν μπορείτε να πάρετε περισσότερη ενέργεια από μια θερμική μηχανή από αυτή που προσδίδετε. Αλλά ο δεύτερος νόμος λέει ότι καμία θερμική μηχανή δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει όλη τη θερμότητα που παράγεται από καύσιμα για να παράγει έργο. Το κύκλο Carnot θέτει τον ιδανικό βαθμό απόδοσης που μπορεί να ληφθεί εάν δεν υπάρχει καμία τριβή, μηχανικές απώλειες, διαρροή, κλπ., αλλά οι πραγματικοί βαθμοί απόδοσης των μηχανών είναι πολύ μικρότεροι.



Industry-wide average for electric power plants about 33%, or three units of primary fuel for one unit of electric energy

Columbia River hydroelectric plants have reached electricity generation efficiencies of 85% since the hydroelectric energy conversion does not go through the thermal bottleneck.

Αρχή  
δεύτερου  
νόμου

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

## Ποιοτικές δηλώσεις: Δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής

Ο δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής είναι μια βαθιά αρχή της φύσης που έχει επιπτώσεις στον τρόπο που η ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις που δηλώνουν αυτήν την αρχή ποιοτικά. Εδώ είναι μερικές προσεγγίσεις που δίνουν τη βασική αίσθηση της αρχής.

1. Η θερμότητα δεν θα ρεύσει αυθόρμητα από ένα κρύο αντικείμενο σε ένα θερμό αντικείμενο.	<u>Περαιτέρω</u> <u>συζήτηση</u>
2. Οποιοδήποτε σύστημα που είναι χωρίς εξωτερικές επιρροές γίνεται πιο διαταραγμένο με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η αναταραχή μπορεί να εκφραστεί από την άποψη της ποσότητας αποκαλούμενης εντροπία.	<u>Περαιτέρω</u> <u>συζήτηση</u>

Αρχή  
δεύτερου  
νόμου

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

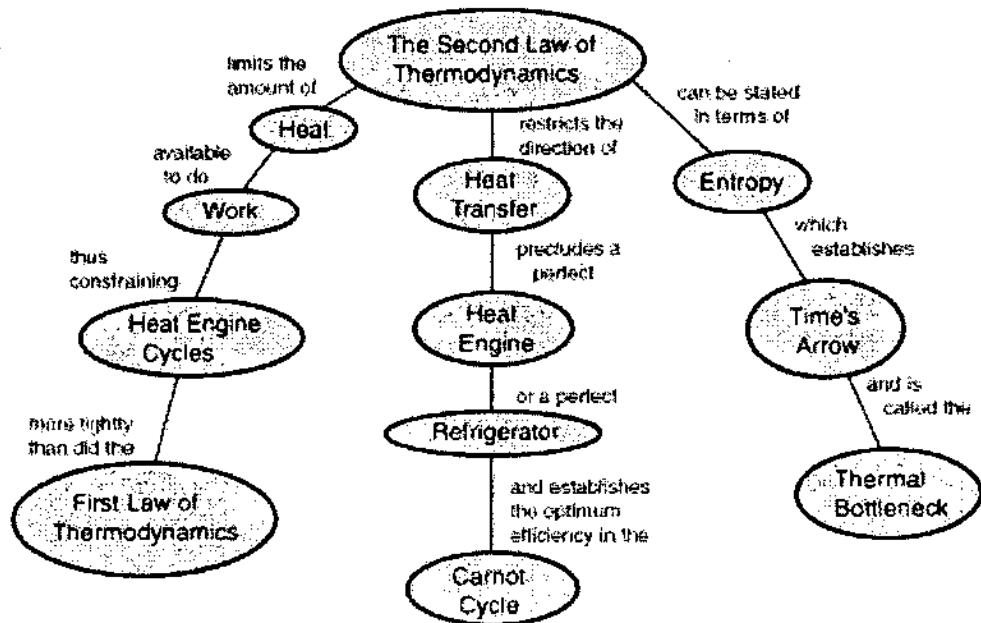
3. Δεν μπορείτε να δημιουργήσετε μια θερμική μηχανή που να λαμβάνει θερμότητα και να την μετατρέπει όλη σε χρήσιμο έργο.

Περαιτέρω  
συζήτηση

4. Υπάρχει ένας θερμικός περιορισμός που εμποδίζει τις συσκευές που μετατρέπουν την αποθηκευμένη ενέργεια σε θερμότητα και χρησιμοποιούν έπειτα τη θερμότητα αυτή για να εκτελούν έργο. Για έναν δεδομένο μηχανικό βαθμό απόδοσης των συσκευών, μια μηχανή που περικλείει μετατροπή της θερμότητας ως ένα από τα βήματα θα είναι εγγενώς λιγότερο αποδοτική από μια που είναι καθαρώς μηχανική.

Περαιτέρω  
συζήτηση

Εναλλακτικές δηλώσεις: Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής

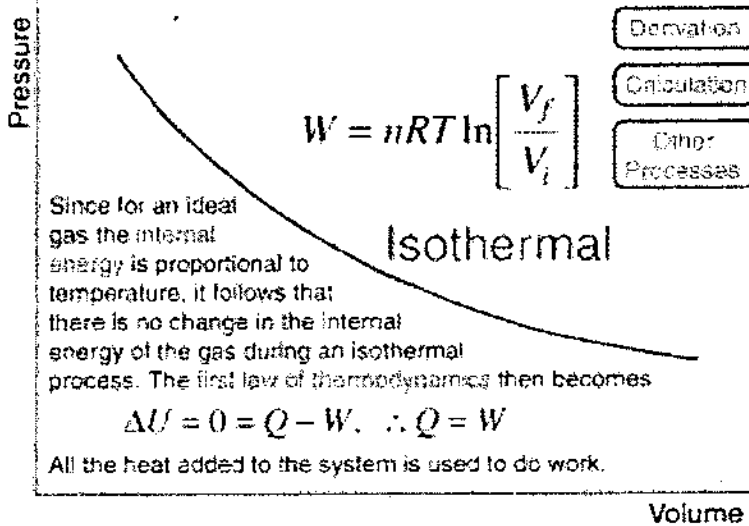


# Ισόθερμη Διαδικασία

Για μια διαδικασία σταθερής θερμοκρασίας που περιλαμβάνει ένα ιδανικό αέριο, η πίεση μπορεί να εκφραστεί από τον τύπο :

$$P = \frac{nRT}{V}$$

Το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας μιας θερμικής μηχανής που οδηγεί σε διαστολή-εκτόνωση της δίνει την έκφραση του έργου κατωτέρω:

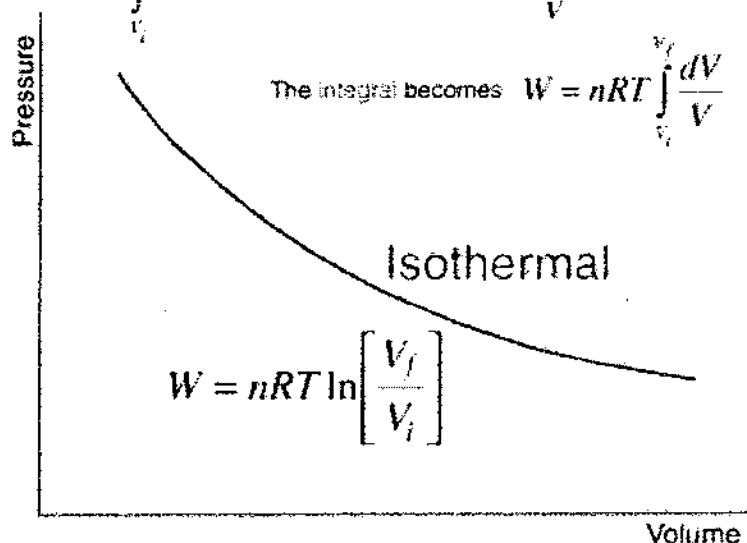


Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

# Ισόθερμη Διαδικασία

Since the temperature is constant, the pressure  $P$  in the work integral

$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$  can be replaced by  $P = \frac{nRT}{V}$  using the ideal gas law.



Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

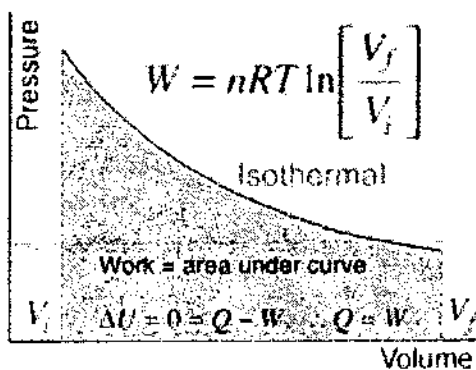
Description

Calculation

Other  
Processes

# Ισόθερμη Διαδικασία

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).



Για ένα ιδανικό αέριο που αποτελείται από  $n = \sqrt{\quad}$  moles αερίου, μια ισόθερμη διαδικασία που περιλαμβάνει εκτόνωση από

$$V_i = \sqrt{\quad} \text{ m}^3$$

$$\text{σε } V_f = \sqrt{\quad} \text{ m}^3$$

Σε θερμοκρασία  $T = \sqrt{\quad}$  K

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

Το έργο που απαιτείται για την εκτόνωση του αερίου είναι :

$$W = nRT \ln \left[ \frac{V_f}{V_i} \right] = \boxed{\phantom{000}} \text{ J} = \boxed{\phantom{000}} \times 10^{\boxed{\phantom{00}}} \text{ J}$$

Η εφαρμογή αυτού του τύπου του νόμου των ιδανικών αερίων δείχνει ότι για αυτήν την διαδικασία:

$$P_i = \boxed{\phantom{000}} \text{ kPa} = \boxed{\phantom{000}} \times 10^{\boxed{\phantom{00}}} \text{ Pa}$$

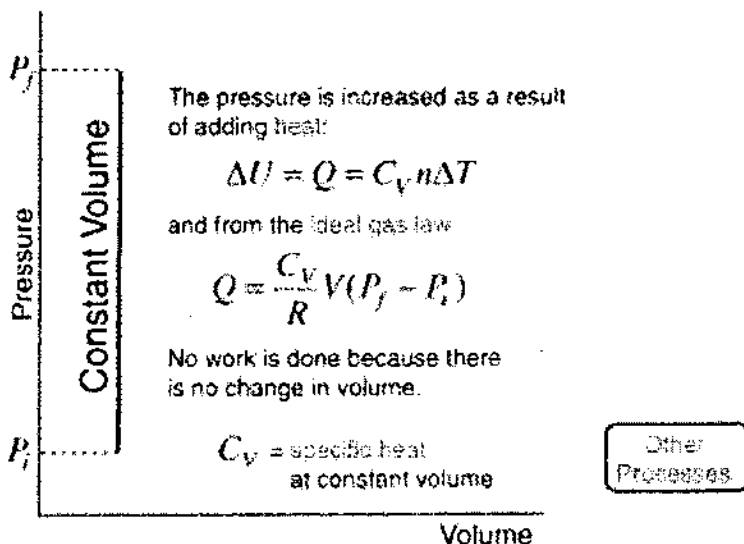
$$P_f = \boxed{\phantom{000}} \text{ kPa} = \boxed{\phantom{000}} \times 10^{\boxed{\phantom{00}}} \text{ Pa}$$

Η θερμοκρασία για τον υπολογισμό του έργου πρέπει να είναι σε Kelvin, έτσι πρέπει να μετατραπεί αν δίνεται σε τυχόν άλλες θερμοκρασιακές μονάδες:

$$T = \boxed{\phantom{000}} \text{ K} = \boxed{\phantom{000}} \text{ }^\circ\text{C} = \boxed{\phantom{000}} \text{ }^\circ\text{F}$$

Συζήτηση της ισόθερμης διαδικασίας

# Ισόχωρη Διαδικασία



Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

Για μια μάζα αερίου που αποτελείται από  $n = \sqrt{\quad}$  moles σε μια πίεση

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

$$P_i = \sqrt{\quad} \text{ kPa} = \sqrt{\quad} \times 10^{\sqrt{\quad}} \text{ Pa,}$$

(Μια ατμόσφαιρα (atm) είναι περίπου 101.3 kPa.)

$$\text{όγκος } V_i = \sqrt{\quad} \text{ m}^3$$

$$\text{Και η ειδική θερμότητα } C_v = \sqrt{\quad} \text{ J/mol K,}$$

η αύξηση της πίεσης σε

$$P_f = \sqrt{\quad} \text{ kPa} = \sqrt{\quad} \times 10^{\sqrt{\quad}} \text{ Pa,}$$

απαιτεί πρόσδοση θερμότητας

$$\Delta U = Q = \frac{C_v}{R} V (P_f - P_i) = \sqrt{\quad} \text{ J} = \sqrt{\quad} \times 10^{\sqrt{\quad}} \text{ J}$$

Όλη αυτή η θερμότητα συμβάλλει στην αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου δεδομένου ότι κανένα έργο δεν εκτελείται. Οι αρχικές και τελικές θερμοκρασίες μπορούν να υπολογιστούν από τις πιέσεις και τους όγκους

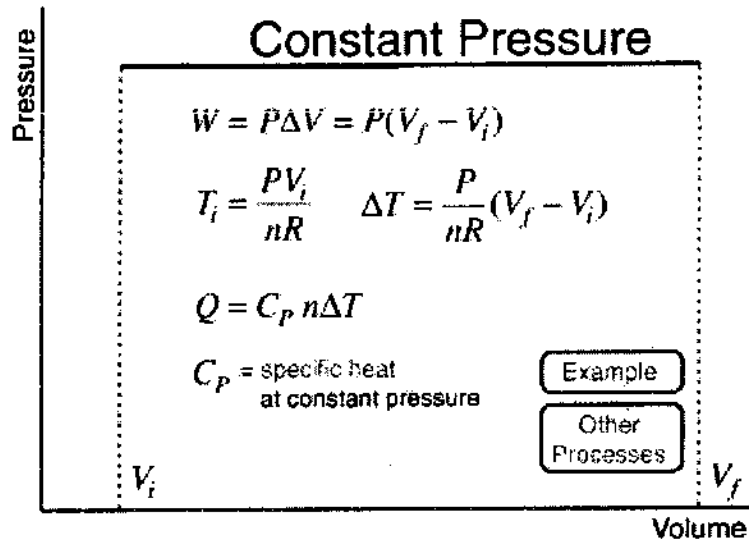


χρησιμοποιώντας τον νόμο των ιδανικών αερίων :

$$T_i = \boxed{\phantom{000}} \text{ K}$$

$$T_f = \boxed{\phantom{000}} \text{ K}$$

# Ισοβαρής Διαδικασία



Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

Για μια μάζα αερίου που αποτελείται από  $n =$  moles σε μια πίεση

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

$P_i =$  kPa =  $\times 10^{\wedge}$  Pa,

η εκτόνωση από

$V_i =$  m<sup>3</sup> to  $V_f =$  m<sup>3</sup>

περιλαμβάνει ένα ποσό έργου

$W = P\Delta V = P(V_f - V_i) =$  J =  $\times 10^{\wedge}$  J

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό το έργο, πρέπει να προστεθεί ενέργεια, και για να υπολογιστεί αυτή η ενέργεια, οι θερμοκρασίες πρέπει να καθοριστούν. Μπορούν να υπολογιστούν από τις πιέσεις και τους όγκους χρησιμοποιώντας τον ιδανικό νόμο των αερίων :

$T_i = \frac{PV_i}{nR} =$  K

$T_f =$  K

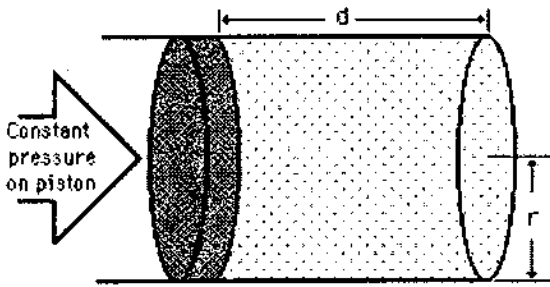
Κατόπιν αν η ειδική μοριακή θερμότητα είναι  $C_p =$  J/mole K

το ποσό θερμότητας που απαιτείται δίνεται :

$$Q = C_p n \Delta T = \dots \text{ J} = \dots \times 10^{\wedge} \dots \text{ J}$$

# Έργο Ισοβαρούς Διαδικασίας

Ο καθορισμός του έργου γίνεται  $W = F \cdot d$  για μια σταθερή δύναμη  $F$  κατά μήκος μιας απόστασης  $d$ . Χρησιμοποιώντας τον ορισμό της πίεσης :



$$W = \frac{F}{A} (Ad) = P\Delta V$$

Για το κυκλικό έμβολο που δείχνεται για την περίπτωση της ισοβαρούς κατάστασης :

$$W = P\Delta V = P(\pi r^2 d)$$

Ο υπολογισμός του έργου για αυτήν την περίπτωση είναι απλός, η κύρια δυσκολία είναι η πολλαπλότητα των μονάδων που χρησιμοποιούνται για τις ποσότητες.

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)) .

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

Για πίεση  $P = \text{[ ]} \times 10^{\text{[ ]}}$  Pa = [ ] atm = [ ] lb/in<sup>2</sup>

Εάν ένα έμβολο με ακτίνα  $r = \text{[ ]}$  m

κινείται σε μια απόσταση  $d = \text{[ ]}$  m,

η μεταβολή στον όγκο είναι :

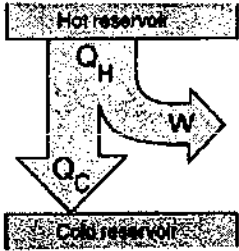
$\Delta V = \text{[ ]}$  m<sup>3</sup> = [ ] cm<sup>3</sup> = [ ] λίτρα,

και το έργο που εκτελείται από το αέριο είναι  $W = \text{[ ]} \times 10^{\text{[ ]}}$  joules.

PV διάγραμμα για την ισοβαρή διαδικασία

# Το Θεώρημα του Clausius

Clausius' inequality applies to any real engine cycle



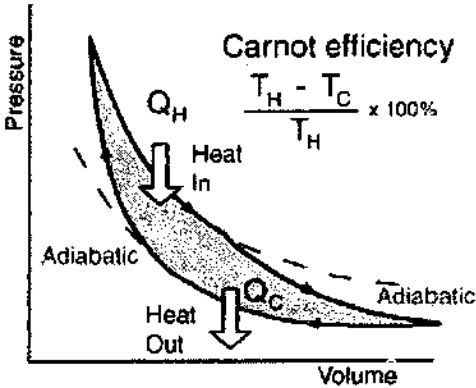
Efficiency  

$$\frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H}$$
 maximum for Carnot cycle

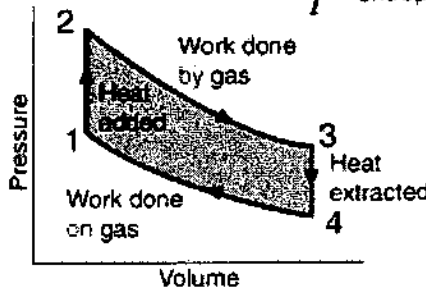
$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

Heat entering the system at any point in the cycle.

Temperature at the point of heat entry.



$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ Change in entropy}$$



Αρχή του κύκλου Carnot

Η παραπάνω ισότητα παρουσιάζει το θεώρημα του Clausius και απευθύνεται μόνο στο ιδεατό ή κύκλο Carnot. Μιας και το ολοκλήρωμα αναπαριστά την αλλαγή στο δίκτυο της εντροπίας σε ένα ολοκληρωμένο κύκλο, αυτό αποδίδει μηδενική αλλαγή στην εντροπία και σχετίζεται με το πιο αποτελεσματικό κύκλο μηχανής.

Αρχή Θερμικής μηχανής

Η ανισότητα του Clausius απευθύνεται σε κάθε πραγματικό κύκλο μηχανής και συνεπάγεται μια αρνητική αλλαγή στην εντροπία του κύκλου. Αυτό σημαίνει, η εντροπία που προσφέρεται στο περιβάλλον κατά την διάρκεια του κύκλου είναι μεγαλύτερη από την εντροπία που μεταφέρεται στη μηχανή από το θερμοδοχείο. Στην απλοποιημένη θερμική μηχανή όπου όλη η θερμότητα  $Q_H$  προσδίδεται στη θερμοκρασία  $T_H$ , τότε μια ποσότητα της εντροπίας  $\Delta S = Q_H / T_H$  προστίθεται στο σύστημα και πρέπει να απορριφθεί στο περιβάλλον για να ολοκληρωθεί το κύκλο. Γενικά, η θερμοκρασία της μηχανής θα είναι λιγότερη από ότι η  $T_H$  για τουλάχιστο μικρό χρονικό διάστημα όταν προσδίδεται θερμότητα, και οποιαδήποτε θερμοκρασιακή μεταβολή συνεπάγεται μια μη αντιστρεπτή διαδικασία. Επιπρόσθετη Εντροπία δημιουργείται σε κάθε μη αντιστρεπτή διαδικασία, και επομένως περισσότερη θερμότητα πρέπει να αποδιωχθεί στο ψυχοδοχείο ώστε να αποβάλει αυτήν την εντροπία. Αυτό διαθέτει λιγότερη ενέργεια για εκτέλεση έργου.

Αρχή Εντροπίας

**Η Εντροπία και το κύκλο Carnot**

# Νόμος των Stefan-Boltzmann

Η ενέργεια που ακτινοβολείται από ένα μέλαν σώμα ανά δευτερόλεπτο ανά μονάδα επιφάνειας είναι ανάλογο προς την τέταρτη δύναμη της απόλυτης θερμοκρασίας και δίνεται από

$$P/A = \sigma T^4 \text{ j/m}^2\text{s} \quad \text{Stefan-Boltzmann Law}$$

$$\text{where } \sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \text{ K}^4$$

Για τα θερμά αντικείμενα εκτός από τα ιδανικά θερμαντικά σώματα, ο νόμος εκφράζεται στη μορφή:

$$P/A = e\sigma T^4$$

όπου το  $e$  είναι ο συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου ( $e = 1$  για το ιδανικό θερμαντικό σώμα). Εάν το καυτό αντικείμενο ακτινοβολεί την ενέργεια στα πιο κρύα περίχωρά του, το καθαρό ποσοστό της απώλειας ακτινοβολίας λαμβάνει τη μορφή

$$P = e\sigma A(T^4 - T_c^4)$$

Η σχέση Stefan-Boltzmann συσχετίζεται επίσης με την ενεργειακή πυκνότητα στην ακτινοβολία σε έναν δεδομένο όγκο του χώρου.

Υπολογισμός    Ανάπτυξη της σχέσης

Αρχή  
μέλαν  
σώματος

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

# Ακτινοβολία Θερμότητας

Η ακτινοβολία είναι μετάδοση θερμότητας από την εκπομπή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που μεταφέρουν ενέργεια μακριά από το αντικείμενο που εκπέμπει. Για συνηθισμένες θερμοκρασίες (λιγότερο από το «θερμό κόκκινο»), η ακτινοβολία είναι στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η σχέση που ισχύει στην ακτινοβολία από τα καυτά αντικείμενα καλείται Stefan-Boltzmann Νόμος :

$$P = e\sigma A(T^4 - T_c^4) \quad \text{Υπολογισμός}$$

$P$  = radiated power

$A$  = radiating area

$\sigma$  = Stefan's constant

$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2 \text{ K}^4$

$e$  = emissivity (=1 for ideal blackbody)

$T$  = temperature of radiator

$T_c$  = temperature of surroundings

Αρχή  
μέλαν  
σώματος

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

# Ο Νόμος των Stefan-Boltzmann

Η συνολική δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας ενός μέλαν σώματος μπορεί να ληφθεί με την ενσωμάτωση του τύπου ακτινοβολίας του Planck σε όλα τα μήκη κύματος. Η ακτινοβολούσα δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας ως λειτουργία του μήκους κύματος είναι :

$$\frac{dP}{d\lambda A} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)}$$

έτσι η ενσωματωμένη δύναμη είναι :

$$\frac{P}{A} = 2\pi hc^2 \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)}$$

Είναι χρήσιμο να γίνει η αντικατάσταση :

$$x = \frac{hc}{\lambda kT} \quad dx = \frac{-hc}{\lambda^2 kT} d\lambda$$

Κάνοντας τις αντικαταστάσεις παίρνουμε :

$$\frac{P}{A} = \frac{2\pi (kT)^4}{h^3 c^2} \int_0^{\infty} \frac{x^3}{(e^x - 1)} dx$$

Κάνοντας χρήση του συνηθισμένου τύπου ολοκληρώματος

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3}{(e^x - 1)} dx = \frac{\pi^4}{15}$$

παίρνουμε τον τελικό τύπο του Νόμου των Stefan-Boltzmann :

$$\frac{P}{A} = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} T^4 = \sigma T^4 = \left[ 5.670 \times 10^{-8} \frac{\text{watts}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right] T^4$$

Υπολογίζοντας την ακτινοβολούσα δύναμη

Αρχή  
μέλαν  
σώματος

## Νόμος των Wiedemann-Franz

Ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός μετάλλου είναι ανάλογος προς τη θερμοκρασία. Ποιοτικά, αυτή η σχέση είναι βασισμένη στο γεγονός ότι η θερμότητα και η ηλεκτρική μεταφορά και οι δύο περιλαμβάνουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στο μέταλλο. Η θερμική αγωγιμότητα αυξάνεται με τη μέση ταχύτητα μορίων αφού αυτή αυξάνει την μπροστινή μεταφορά της ενέργειας. Εντούτοις, η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται με τις αυξήσεις της ταχύτητας των μορίων επειδή οι συγκρούσεις εκτρέπουν τα ηλεκτρόνια από την μπροστινή μεταφορά του φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι ο λόγος της θερμικής προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα στο τετράγωνο, η οποία είναι ανάλογη προς την κινητική θερμοκρασία. Η μοριακή θερμική αγωγιμότητα ενός κλασσικού μονοατομικού αερίου δίνεται από :

$$c_v = \frac{3}{2} R = \frac{3}{2} N_A k$$

Ποιοτικά, ο νόμος των Wiedemann-Franz μπορεί να γίνει κατανοητός με τη μεταχείριση των ηλεκτρονίων όπως ένα κλασσικό αέριο και τη σύγκριση της επακόλουθης θερμικής αγωγιμότητας με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Οι εκφράσεις για τη θερμική και την ηλεκτρική αγωγιμότητα γίνονται :

$$\begin{array}{ll} \text{Conductivities} & \kappa = \frac{n\langle v \rangle \lambda k}{2} & \sigma = ne^2 \lambda / m\langle v \rangle \\ & \text{Thermal} & \text{Electrical} \end{array}$$

Χρησιμοποιώντας την έκφραση για τη μέση ταχύτητα των μορίων από την κινητική θεωρία

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

ο λόγος αυτών των ποσοτήτων μπορεί να εκφραστεί από την άποψη της θερμοκρασίας. Ο λόγος της θερμικής προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα επεξηγεί τον Νόμο των Wiedemann-Franz :

$$\frac{\kappa}{\sigma} = \frac{4k^2 T}{\pi e^2} \quad \text{is in the form of the Wiedemann-Franz Law} \quad \frac{\kappa}{\sigma} = L T \quad \text{but the constant is wrong!}$$

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας



Ποιοτικά συμφωνώντας με το πείραμα, η τιμή της σταθεράς είναι λάθος σε αυτήν την κλασική επεξεργασία. Όταν πραγματοποιείται η κβαντική μηχανική επεξεργασία, η τιμή της σταθεράς βρίσκεται να είναι :

$$L = \frac{\kappa}{\sigma T} = \frac{\pi^2 k^2}{3e^2} = 2.45 \times 10^{-8} \text{ W}\Omega/\text{K}^2$$

Αυτό είναι σε καλή συμφωνία με το πείραμα, όπως μπορεί να φανεί από τις τιμές στον πίνακα. Το γεγονός ότι ο λόγος των χρόνων της θερμικής προς την ηλεκτρική αγωγιμότητα επί την θερμοκρασία είναι σταθερός μορφοποιεί την ουσία του νόμου Wiedemann-Franz. Είναι αξιοπρόσεκτο ότι είναι επίσης ανεξάρτητος από την μάζα των μορίων και τον αριθμό της πυκνότητας των μορίων.

Τα στοιχεία είναι από C. Kittel, Παρουσίαση στις Στερεές καταστάσεις Φυσικής, 5th Ed., New York: Wiley, 1976, p. 178.

Αριθμός Lorenz σε  
10<sup>-8</sup> Watt ohm/K<sup>2</sup>

Metal	273K	373K
Ag	2.31	2.37
Au	2.35	2.40
Cd	2.42	2.43
Cu	2.23	2.33
Ir	2.49	2.49
Mo	2.61	2.79
Pb	2.47	2.56
Pt	2.51	2.60
Sn	2.52	2.49
W	3.04	3.20
Zn	2.31	2.33

Πίνακας Θερμικής Αγωγιμότητας

Πίνακας Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας

# Η Ελεύθερη Ενέργεια του Helmholtz

Τέσσερις ποσότητες που καλούνται "Θερμοδυναμικά δυναμικά" είναι χρήσιμα στη χημική θερμοδυναμική των αντιδράσεων και των μη-κυκλικών διαδικασιών. Αυτά είναι : η εσωτερική ενέργεια, η ενθαλπία, η ελεύθερη ενέργεια του Helmholtz και η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs. Η ελεύθερη ενέργεια του Helmholtz  $F$  καθορίζεται από :

$$F = U - TS$$

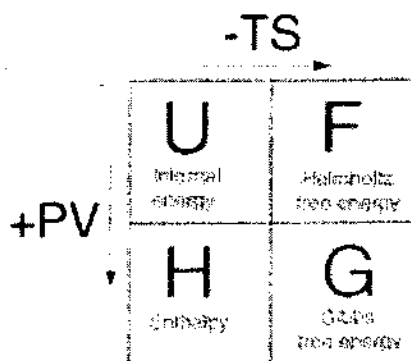
Absolute temperature  
 Helmholtz free energy    internal energy    Final entropy  
 Energy you can get from the system's environment by heating

Αρχή εσωτερικής ενέργειας

Η εσωτερική ενέργεια  $U$  μπορεί να θεωρηθεί ως η ενέργεια που απαιτήθηκε για να δημιουργήσει ένα σύστημα λόγω έλλειψης των αλλαγών στη θερμοκρασία ή στον όγκο. Αλλά εάν το σύστημα δημιουργείται σε ένα περιβάλλον θερμοκρασίας  $T$ , τότε μερική από την ενέργεια μπορεί να ληφθεί από την αυθόρμητη μετάδοση θερμότητας από το περιβάλλον στο σύστημα. Το ποσό αυτής της αυθόρμητης μεταφοράς ενέργειας είναι  $TS$  όπου το  $S$  είναι η τελική εντροπία του συστήματος. Σε εκείνη την περίπτωση, δεν είναι απαραίτητο να προσδώσετε τόση ενέργεια. Σημειώστε ότι εάν μια πιο διαταραγμένη (υψηλότερη εντροπία) τελική κατάσταση δημιουργείται, απαιτείται λιγότερο έργο για να δημιουργηθεί το σύστημα. Η ελεύθερη ενέργεια του Helmholtz είναι έπειτα ένα μέτρο του ποσού ενέργειας που πρέπει να προσδώσετε για να δημιουργήσετε ένα σύστημα μόλις η αυθόρμητη ενέργεια μεταφερθεί στο σύστημα από το περιβάλλον που αποτελείται .

Αναφορά Schroeder Ch 5

Τα τέσσερα Θερμοδυναμικά δυναμικά σχετίζονται από τις αντισταθμίσεις της "ενέργειας από το περιβάλλον", ο όρος  $TS$ , και το "έργο διαστολής", ο όρος  $PV$ . Ένα μνημονικό διάγραμμα που προτείνεται από τον Schroeder μπορεί να σας βοηθήσει να παρακολουθήσετε τις σχέσεις



μεταξύ των τεσσάρων  
θερμοδυναμικών δυναμικών.

## Η Ελεύθερη Ενέργεια του Gibbs

Τέσσερις ποσότητες που καλούνται "Θερμοδυναμικά δυναμικά" είναι χρήσιμα στη χημική θερμοδυναμική των αντιδράσεων και των μη-κυκλικών διαδικασιών. Αυτά είναι : η εσωτερική ενέργεια, η ενθαλπία, η ελεύθερη ενέργεια του Helmholtz και η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs . Η ελεύθερη ενέργεια του Gibbs καθορίζεται από :

$$G = U - TS + PV$$

Gibbs free energy      Internal energy      Absolute temperature      Final entropy      Absolute pressure      Final volume

Energy you can get from the system's environment by heating      Work to give the system final volume V at constant pressure P

Αρχή  
εσωτερικής  
ενέργειας

Αναφορά  
Schroeder  
Ch 5

Η εσωτερική ενέργεια U μπορεί να θεωρηθεί ως ενέργεια που απαιτήθηκε για να δημιουργήσει ένα σύστημα λόγω έλλειψης των αλλαγών στη θερμοκρασία ή στον όγκο. Αλλά όπως συζητείται στον καθορισμό της ενθαλπίας, ένα πρόσθετο έργο PV πρέπει να δοθεί εάν το σύστημα δημιουργείται από έναν πολύ μικρό όγκο προκειμένου "να δημιουργηθεί

χώρος" για το σύστημα. Όπως συζητείται στον καθορισμό της ελεύθερης ενέργειας Helmholtz, το περιβάλλον σε σταθερή θερμοκρασία  $T$  θα συνεισφέρει ένα ποσό  $TS$  στο σύστημα και έτσι μειώνει τη γενική συνεισφορά που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία του συστήματος. Αυτή η συμβολή καθαρής ενέργειας για ένα σύστημα που δημιουργείται στη θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T$  από έναν αμελητέο αρχικό όγκο είναι η ελεύθερη ενέργεια Gibbs.

Η μεταβολή στην ελεύθερη ενέργεια του Gibbs,  $\Delta G$ , σε μια αντίδραση, είναι μια πολύ χρήσιμη παράμετρος. Μπορεί να θεωρηθεί ως το μέγιστο ποσό έργου που παράγεται από μια αντίδραση. Παραδείγματος χάριν, στην οξείδωση της γλυκόζης, η αλλαγή στην ελεύθερη ενέργεια Gibbs είναι  $\Delta G = 686 \text{ kcal} = 2870 \text{ kJ}$ . Αυτή η αντίδραση είναι η κύρια ενεργειακή αντίδραση στα ζωντανά κύτταρα .

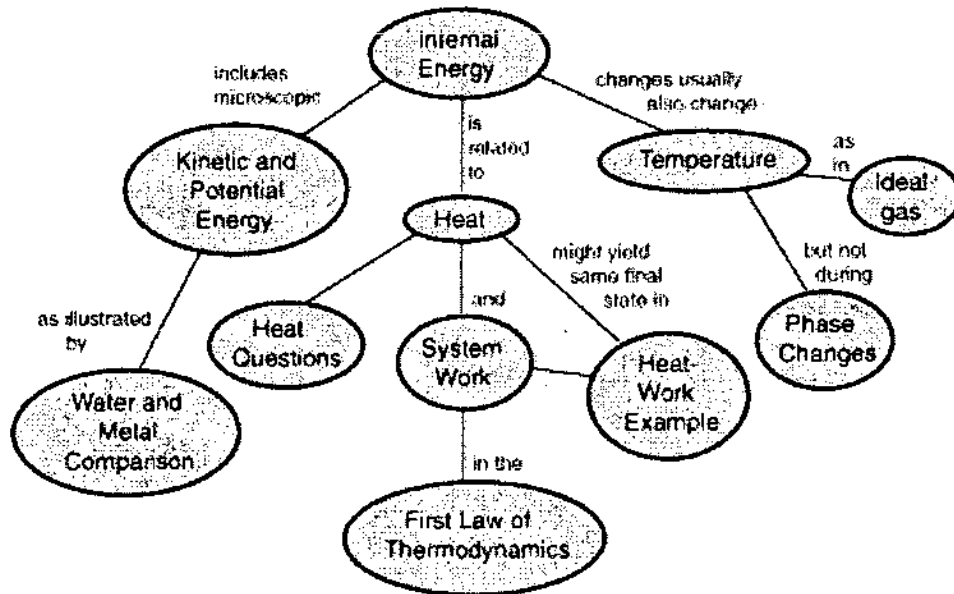
Παράδειγμα : Ηλεκτρόλυση του νερού

Παράδειγμα : κυψέλες καύσιμου Υδρογόνου

G ως δείκτης του αυθορμητισμού των χημικών αντιδράσεων

Σχέση του G στις τυποποιημένες δυνατότητες ηλεκτροδίων

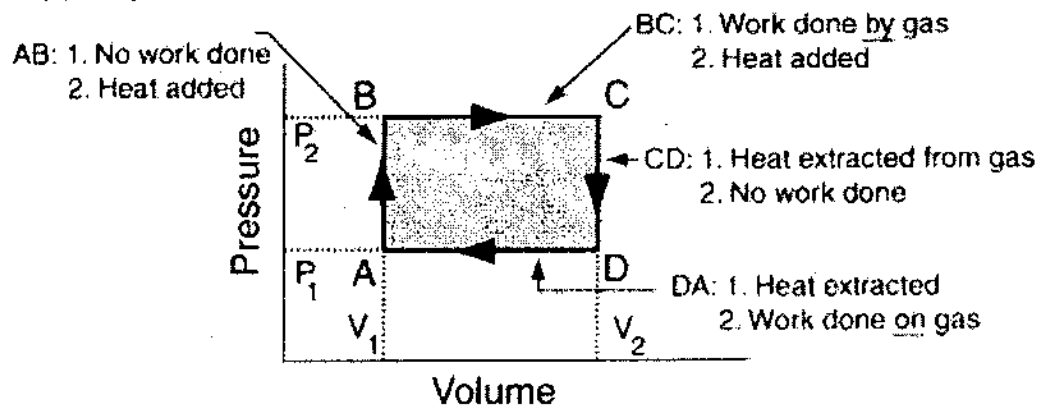
Πίνακας των μεταβολών της ελεύθερης ενέργειας του Gibbs



Ενθαλπία	Ελεύθερη ενέργεια του Helmholtz	Ελεύθερη ενέργεια του Gibbs
Θερμοδυναμική Ταυτότητα		Θερμοδυναμικά Δυναμικά

# Κύκλα Μηχανών

Για μια σταθερή μάζα αερίου, η λειτουργία μιας θερμικής μηχανής είναι ένα κύκλο επανάληψης και το διάγραμμα PV θα είναι ένα κλειστό σχήμα. Η ιδέα ενός κύκλου μηχανών είναι διευκρινισμένη κατωτέρω για ένα από τα απλούστερα είδη κύκλων. Εάν το κύκλο χρησιμοποιείται δεξιόστροφα στο διάγραμμα, η μηχανή χρησιμοποιεί θερμότητα για να παράγει έργο. Εάν χρησιμοποιείται αντίθετα προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού, χρησιμοποιεί (καταναλώνει) το έργο για να μεταφέρει θερμότητα και επομένως ενεργεί ως ένα ψυγείο ή μια αντλία θερμότητας.



Ανάλυση κύκλου μηχανής

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

# Ανάλυση Κύκλου Μηχανής

AB: Increase in pressure with no volume change, so ideal gas law

$$PV = nRT$$

gives

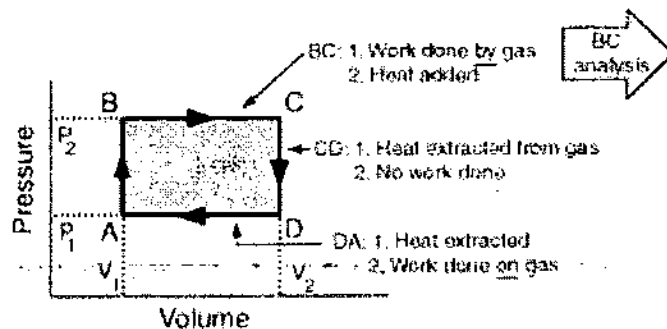
$$\Delta T = \frac{(P_2 - P_1)V_1}{nR}$$

and first law gives

$$Q = c_v n \Delta T$$

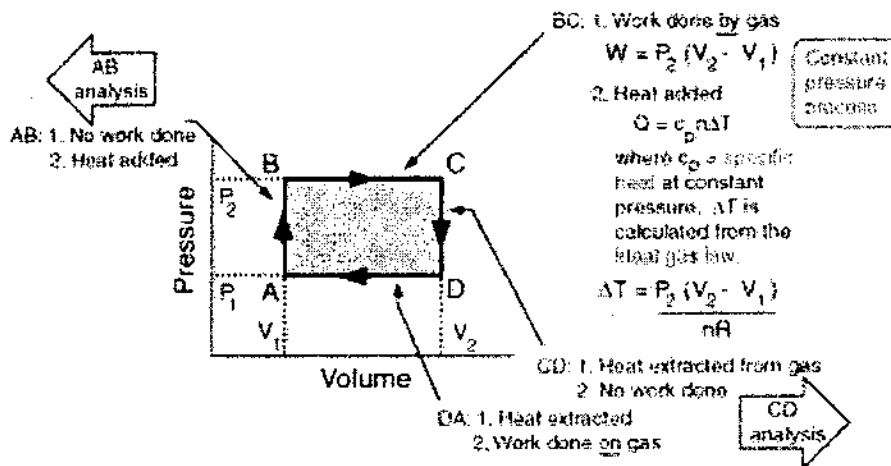
where  $c_v$  = specific heat at constant volume. There is no work done since  $\Delta V = 0$

Constant volume process



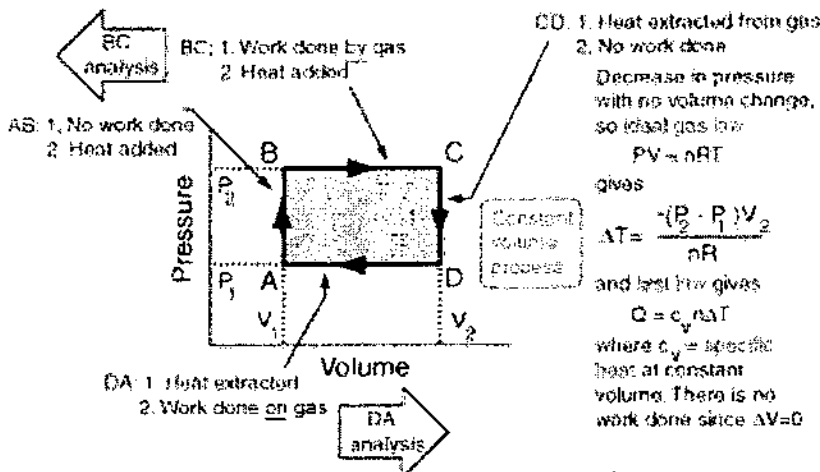
Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

# Ανάλυση Κύκλου Μηχανής



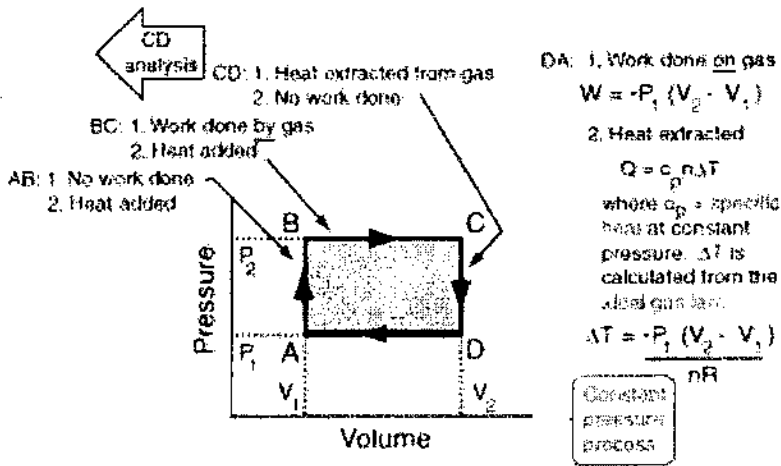
Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

# Ανάλυση Κύκλου Μηχανής



Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

# Ανάλυση Κύκλου Μηχανής

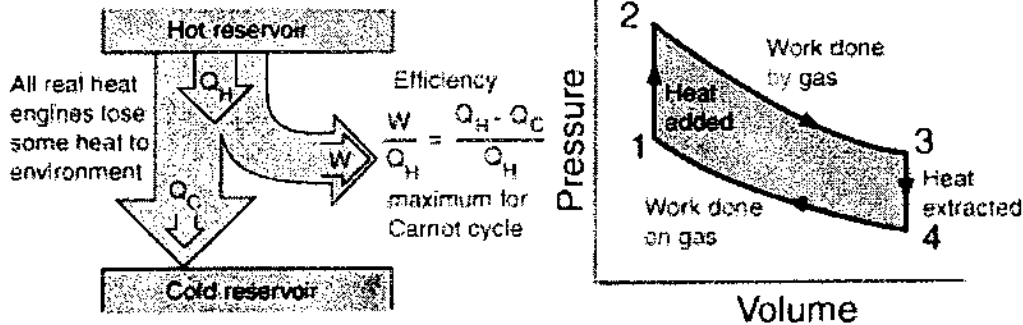


Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής



# Θερμικές Μηχανές

Μια θερμική μηχανή τυπικά χρησιμοποιεί ενέργεια που παρέχεται υπό μορφή θερμότητας για να παράγει έργο και κατόπιν αποβάλλει τη θερμότητα που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει έργο. Η θερμοδυναμική είναι η μελέτη των σχέσεων μεταξύ της θερμότητας και του έργου. Ο πρώτος νόμος και ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής περιορίζουν τη λειτουργία μιας θερμικής μηχανής. Ο πρώτος νόμος είναι η εφαρμογή της Αρχής διατήρησης της ενέργειας στο σύστημα, και ο δεύτερος θέτει όρια στον πιθανό βαθμό απόδοσης της μηχανής και καθορίζει την κατεύθυνση της ενεργειακής ροής.



Έννοιες  
διαγραμμάτων  
PV

Αρχή  
θερμικών  
μηχανών

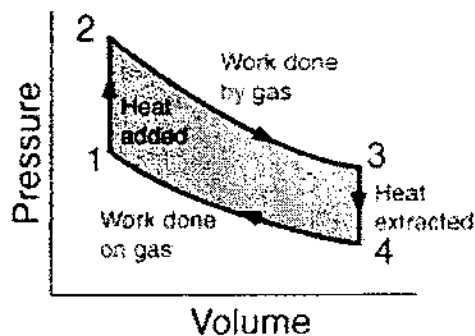
Οι γενικές θερμικές μηχανές μπορούν να περιγραφούν από το θερμοδοχείο (αριστερά) ή από ένα διάγραμμα PV (δεξιά)

# Κύκλα Θερμικών Μηχανών

Μια θερμική μηχανή χρησιμοποιεί τυπικά ενέργεια που παρέχεται υπό μορφή θερμότητας για να παράγει έργο και κατόπιν αποβάλλει τη θερμότητα που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει έργο. Η θερμοδυναμική είναι η μελέτη των σχέσεων μεταξύ της θερμότητας και του έργου. Ο πρώτος νόμος και ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής περιορίζουν τη λειτουργία μιας θερμικής μηχανής. Ο πρώτος νόμος είναι η εφαρμογή της Αρχής διατήρησης της ενέργειας στο σύστημα, και ο δεύτερος θέτει όρια στον πιθανό βαθμό απόδοσης της μηχανής και καθορίζει την κατεύθυνση της ενεργειακής ροής.

Ανάλυση  
απλού  
κύκλου.

Οι Θερμικές  
μηχανές είναι  
τυπικά  
διευκρινισμένες  
επάνω σε PV  
διάγραμμα

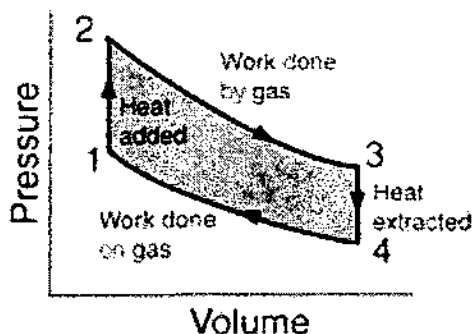


Οι Θερμικές  
Μηχανές όπως οι  
μηχανές  
αυτοκινήτων  
λειτουργούν κατά  
τρόπο κυκλικό,  
προσλαμβάνοντας  
ενέργεια υπό μορφή  
θερμότητας σε ένα  
μέρος του κύκλου  
και  
χρησιμοποιώντας  
αυτήν την ενέργεια  
για να παράγει έργο  
σε ένα άλλο μέρος  
του κύκλου.

Αρχή  
Θερμικών  
μηχανών

## PV Διαγράμματα

Τα διαγράμματα Πίεσης-Όγκου (PV) είναι ένα αρχικό εργαλείο απεικόνισης για τη μελέτη των θερμικών μηχανών. Δεδομένου ότι οι μηχανές περιλαμβάνουν συνήθως ένα αέριο ως εργαζόμενη ουσία, ο νόμος των ιδανικών αερίων σχετίζει το διάγραμμα PV με τη θερμοκρασία έτσι ώστε οι τρεις ουσιαστικές καταστατικές μεταβλητές του αερίου να μπορούν να εμφανιστούν μέσω του κύκλου μηχανών. Δεδομένου ότι το έργο παράγεται μόνο όταν αλλάζει ο όγκος του αερίου, το διάγραμμα δίνει μια οπτική ερμηνεία του περατωμένου έργου. Δεδομένου ότι η εσωτερική ενέργεια ενός ιδανικού αερίου εξαρτάται από τη θερμοκρασία της, το διάγραμμα PV μαζί με τις θερμοκρασίες, που υπολογίζονται από τον νόμο των ιδανικών αερίων, καθορίζει τις μεταβολές στην εσωτερική ενέργεια του αερίου έτσι ώστε το ποσό της θερμότητας που προστίθεται να μπορεί να υπολογιστεί από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής. Εν περιλήψει, το διάγραμμα PV παρέχει το πλαίσιο για την ανάλυση οποιασδήποτε θερμικής μηχανής που χρησιμοποιεί αέριο ως εργαζόμενη ουσία.



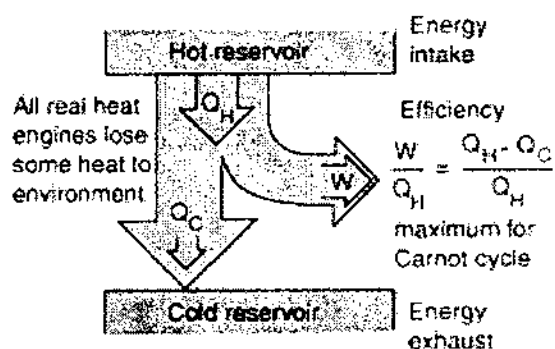
Για μια κυκλική διαδικασία των θερμικών μηχανών, το διάγραμμα PV θα είναι κλειστός βρόχος. Η περιοχή μέσα στο βρόχο είναι μια αντιπροσώπευση του ποσού του έργου που παράγεται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου. Κάποια ιδέα του σχετικού βαθμού απόδοσης του κύκλου μηχανών μπορεί να ληφθεί με τη σύγκριση του διαγράμματος PV με αυτό του κύκλου Carnot, το αποδοτικότερο είδος κύκλου των θερμικών μηχανών.

Έννοιες  
διαγραμμάτων  
PV

Αρχή  
θερμικών  
μηχανών

## Θερμοδοχείο

Ένας από τους γενικούς τρόπους να διευκρινιστεί μια θερμική μηχανή είναι η χρήση της έννοιας του θερμοδοχείου. Η μηχανή παίρνει ενέργεια από ένα θερμοδοχείο και χρησιμοποιεί μέρος από αυτήν για να παράγει έργο, αλλά περιορίζεται από τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής για να αποβάλλει μέρος της ενέργειας σε ένα ψυχοδοχείο. Στη περίπτωση της μηχανής αυτοκινήτου, θερμοδοχείο είναι τα καύσιμα που καίγονται και ψυχοδοχείο είναι το περιβάλλον στο οποίο τα προϊόντα καύσης αποβάλλονται.



Η έκφραση του βαθμού απόδοσης που δίνεται είναι γενική, αλλά ο μέγιστος βαθμός απόδοσης περιορίζεται σε αυτόν του κύκλου Carnot. Αυτός ο περιορισμός συχνά καλείται θερμικός περιορισμός.

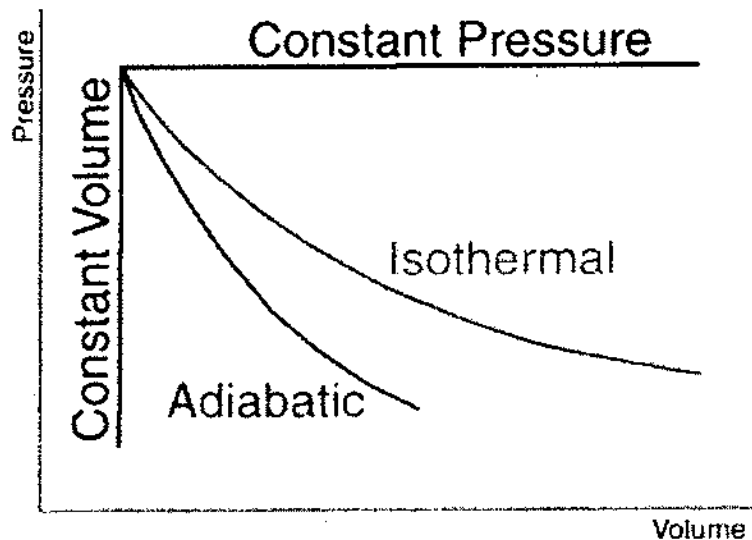
Αρχή  
θερμικών  
μηχανών

Ένας άλλος σύνθητες τρόπος να χαρακτηριστούν οι θερμικές μηχανές είναι μέσω ενός PV διαγράμματος

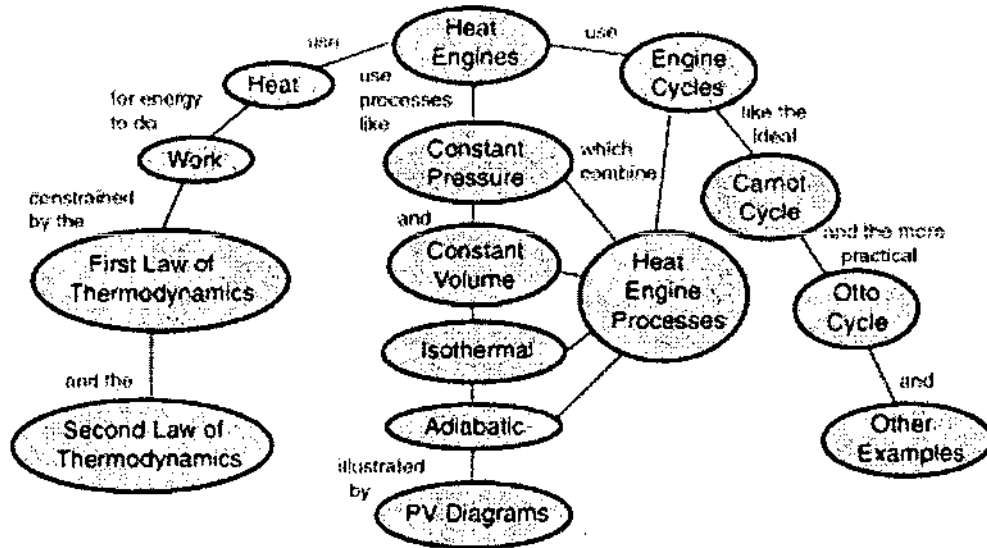
# Διαδικασία Θερμικής Μηχανής

Οι διαδικασίες των θερμικών μηχανών παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα PV. Εκτός από τις διαδικασίες ισόχωρη, ισοβαρής και ισόθερμη, μια χρήσιμη διαδικασία είναι η αδιαβατική διαδικασία όπου καθόλου θερμότητα δεν εισάγεται ή εξάγεται από το σύστημα.

Κάντε κλικ σε οποιαδήποτε διαδικασία για περαιτέρω λεπτομέρειες.



Αρχή  
θερμικής  
μηχανής



Το θεώρημα του Clausius

## Παραδείγματα Θερμικών Μηχανών

Ψυγείο

Κύκλο Carnot

Αντλία θερμότητας

Κύκλο Otto

Ορθογώνιο διάγραμμα PV

Μηχανή Diesel

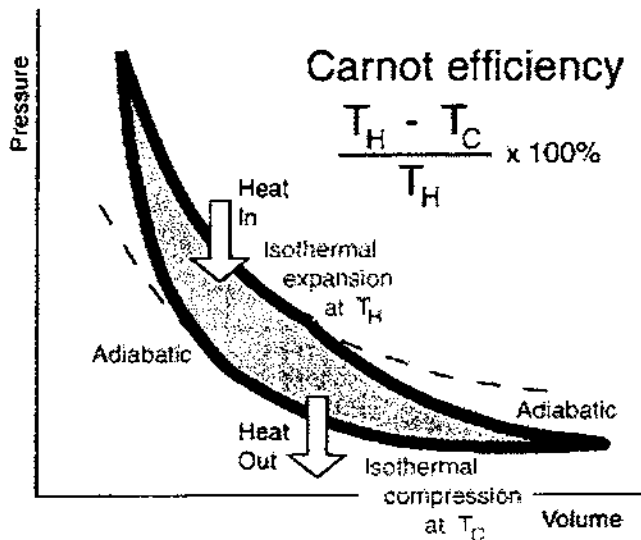
Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

# Το Κύκλο Carnot

Το πιο αποτελεσματικό κύκλο θερμικής μηχανής είναι αυτό του κύκλου Carnot, που αποτελείται από δυο ισόθερμες διαδικασίες και δυο αδιαβατικές διαδικασίες. Το κύκλο Carnot μπορεί να θεωρηθεί ως το πιο αποτελεσματικό κύκλο θερμικής μηχανής σύμφωνα με τους νόμους της φυσικής. Όταν ο δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής δηλώνει ότι δεν είναι δυνατόν όλη η προσδιδόμενη θερμότητα σε μια θερμική μηχανή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να παράγει έργο, ο Carnot δηλώνει την οριακή τιμή του λόγου της θερμότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Για να προσεγγίσουμε τον βαθμό απόδοσης του Carnot, οι διαδικασίες που εμπλέκονται σε ένα κύκλο θερμικής μηχανής πρέπει να αντιστρεπτές και να μην συμβαίνει αλλαγή στην εντροπία. Αυτό σημαίνει ότι το κύκλο Carnot είναι μια εξιδανίκευση, αφού σε καμία πραγματική μηχανή οι διαδικασίες δεν είναι αντιστρεπτές και όλες οι φυσικές διαδικασίες περιλαμβάνουν κάποια αύξηση στην εντροπία.

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com))



Carnot efficiency

$$\frac{T_H - T_C}{T_H} \times 100\%$$

Για  $T_H =$  ..... K

$T_C =$  ..... K

Ο βαθμός απόδοσης του Carnot είναι : ..... %

Αρχή του κύκλου Carnot

Αρχή Θερμικής μηχανής

Παραπομπή Schroeder Sec 4.1

Οι θερμοκρασίες στην έκφραση του βαθμού απόδοσης του Carnot πρέπει να εκφράζονται σε Κελβίν. Για τις άλλες θερμοκρασιακές μονάδες, η παρακάτω μετατροπές εφαρμόζονται :

$T_H =$  ..... K = ..... °C = ..... °F

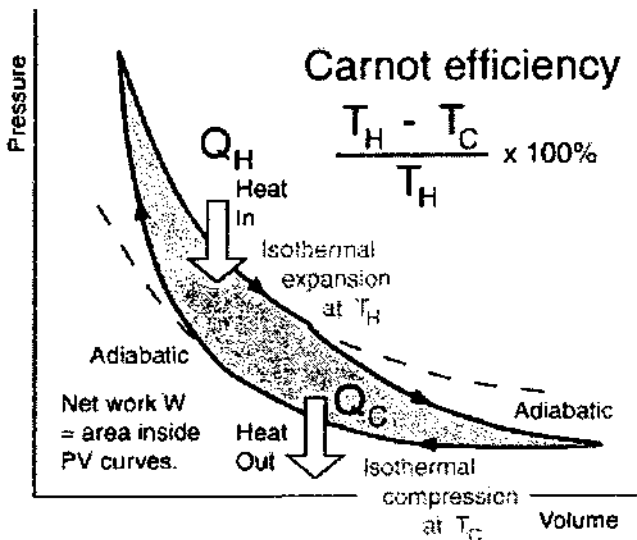
$T_C =$  ..... K = ..... °C = ..... °F

Η θεμελιώδης έννοια του κύκλου Carnot είναι ότι επιτυγχάνει τον μέγιστο βαθμό απόδοσης για έναν κύκλο μηχανής που λειτουργεί μεταξύ  $T_H$  και  $T_C$ . Αυτός δεν είναι ένα πρακτικό κύκλο μηχανής επειδή η μετάδοση θερμότητας μέσα στην μηχανή σε μια ισόθερμη διαδικασία είναι πολύ αργή ώστε να έχει πρακτική αξία. Όπως ο Schroeder το θέτει "Έτσι μην σκοτίζεστε να τοποθετείτε μια μηχανή Carnot στο αυτοκίνητο σας, εφόσον αυτή θα μείωνε

την κατανάλωση καυσίμου, θα σας προσπέρναγαν στον αυτοκινητόδρομο ακόμα και οι πεζοί."

**Η Εντροπία και το κύκλο Carnot**

# Η Εντροπία και το Κύκλο Carnot



Carnot efficiency

$$\frac{T_H - T_C}{T_H} \times 100\%$$

Ο βαθμός απόδοσης ενός κύκλου θερμικής μηχανής δίνεται από :

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H}$$

Για την ιδανική περίπτωση του κύκλου Carnot, αυτός ο βαθμός απόδοσης μπορεί να γραφτεί :

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

Χρησιμοποιώντας αυτές τις δυο εκφράσεις μαζί :

$$1 - \frac{Q_C}{Q_H} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\frac{Q_C}{T_C} = \frac{Q_H}{T_H} \quad \text{or} \quad \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_C}{T_C} = 0$$

Εάν εμείς πάρουμε το Q να εκπροσωπεί την θερμότητα που προστίθεται στο σύστημα , τότε η θερμότητα που αποβάλλεται από το σύστημα θα έχει αρνητική τιμή . Για το κύκλο Carnot :

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} = 0$$

Αρχή του κύκλου Carnot



το οποίο μπορεί να γενικευτεί σαν ένα ολοκλήρωμα γύρω από έναν αντιστρεπτό κύκλο :

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad \text{Θεωρία του Clausius}$$

Υποσημείωση : αντί για τον όρο  $dQ$  ορθότερος είναι ο όρος  $\delta Q$

Για οποιοδήποτε τμήμα ενός κύκλου θερμικής μηχανής, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να ορίσει μια αλλαγή στην εντροπία  $S$  του συστήματος :

$$S(B) - S(A) = \int_A^B \frac{dQ}{T}$$

ή έναν διαφορετικό τύπο σε οποιοδήποτε σημείο μέσα στο κύκλο

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Υποσημείωση : αντί για τον όρο  $dQ$  ορθότερος είναι ο όρος  $\delta Q$

Για οποιαδήποτε αμετάκλητη διαδικασία, ο βαθμός απόδοσης είναι λιγότερος από ότι στο κύκλο Carnot. Αυτό μπορεί να σχετιστεί με λιγότερη ροή θερμότητας προς το σύστημα και / ή περισσότερη ροή θερμότητας από το σύστημα . Το αναπόφευκτο αποτέλεσμα είναι :

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0 \quad \text{Ανισότητα του Clausius}$$

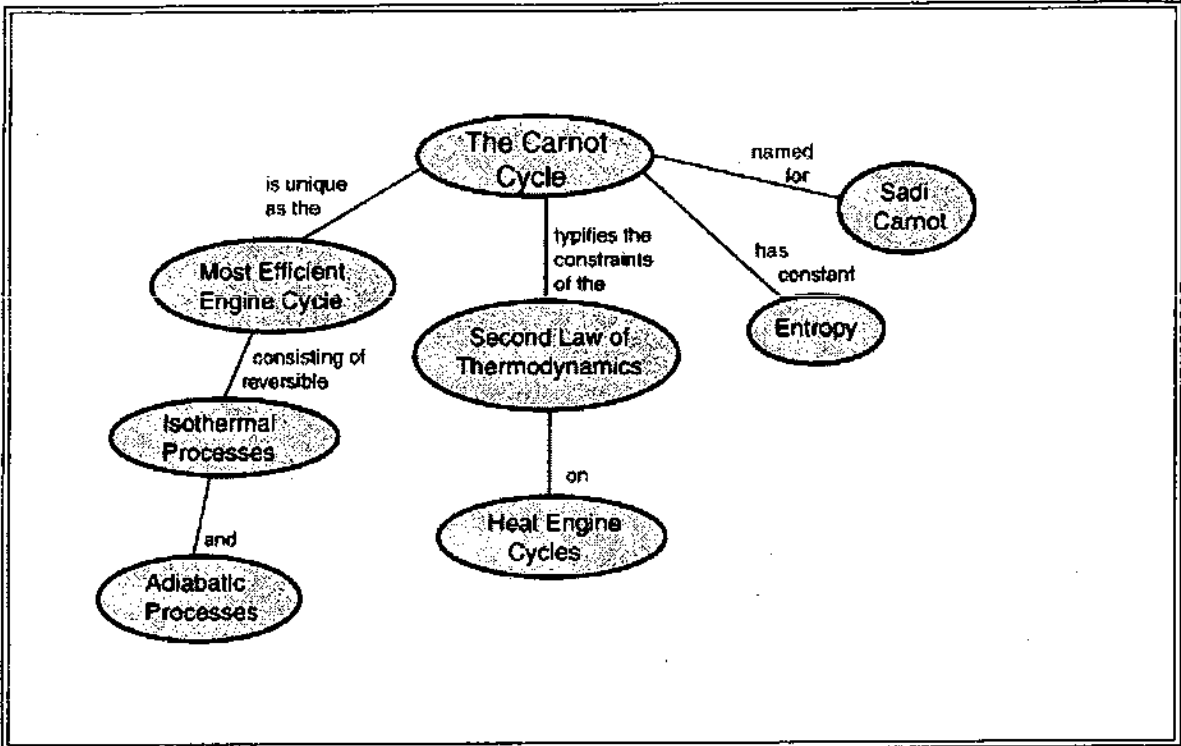
Υποσημείωση : αντί για τον όρο  $dQ$  ορθότερος είναι ο όρος  $\delta Q$

Οποιοσδήποτε κύκλο πραγματικής μηχανής θα έχει σαν αποτέλεσμα την προσφορά περισσότερης εντροπίας προς το περιβάλλον από ότι πήρε από αυτό, οδηγώντας σε μια ολική καθαρή αύξηση της εντροπίας .

Περισσότερες πληροφορίες για την Ανισότητα του Clausius

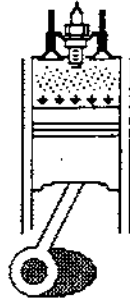
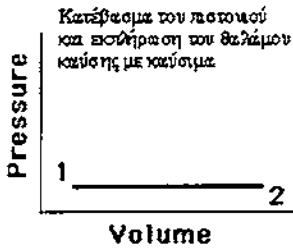
Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

Αρχή της  
Εντροπίας



# Κύκλο Otto

Σχηματική απεικόνιση του κύκλου μιας τετράχρονης μηχανής

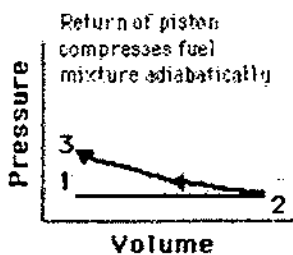


Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

Βήμα-βήμα το κύκλο μηχανής

# Κύκλο Otto

Σχηματική απεικόνιση του κύκλου μιας τετράχρονης μηχανής



Περιεχόμενα

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

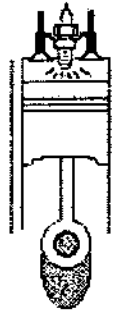
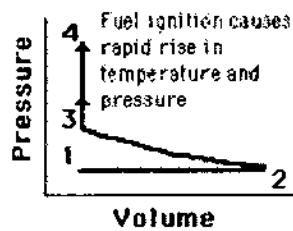
Βήμα-βήμα το κύκλο μηχανής

Υπερφυσική\*\*\*\*\* Θερμοδυναμική

Επιστροφή

# Κύκλο Otto

Σχηματική απεικόνιση του κύκλου μιας τετράχρονης μηχανής



Βήμα-βήμα το κύκλο μηχανής

Περιεχόμενα

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

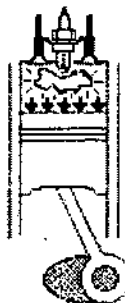
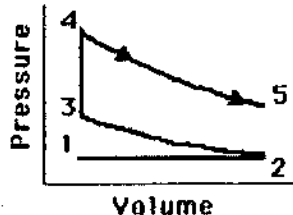
Υπερφυσική\*\*\*\*\* Θερμοδυναμική

Επιστροφή

# Κύκλο Otto

Σχηματική απεικόνιση του κύκλου μιας τετράχρονης μηχανής

The power stroke: the adiabatically expanding gases do work on the piston



Βήμα-βήμα το κύκλο μηχανής

Περιεχόμενα

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

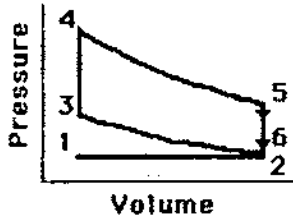
Υπερφυσική\*\*\*\*\* Θερμοδυναμική

Επιστροφή

# Κύκλο Otto

## Σχηματική απεικόνιση του κύκλου μιας τετράχρονης μηχανής

The exhaust valve opens as the piston reaches the bottom of its travel, dropping the pressure to atmospheric pressure.



Βήμα-βήμα το κύκλο μηχανής

Περιεχόμενα

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

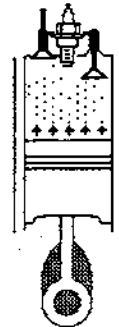
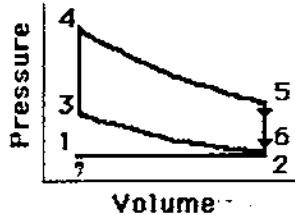
Υπερφυσική\*\*\*\*\* Θερμοδυναμική

Επιστροφή

# Κύκλο Otto

## Σχηματική απεικόνιση του κύκλου μιας τετράχρονης μηχανής

Το ποτόν αφερίνει  
για σπράζει τα καυσάερα  
προς το περιβάλλον



Βήμα-βήμα το κύκλο μηχανής

Περιεχόμενα

Αρχή  
θερμικής  
μηχανής

Υπερφυσική\*\*\*\*\* Θερμοδυναμική

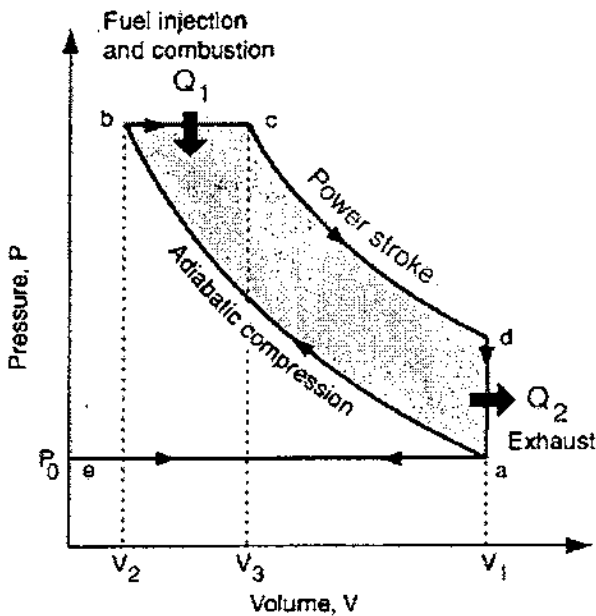
Επιστροφή

# Η Μηχανή Diesel

Η μηχανή εσωτερικής καύσεως diesel διαφέρει από αυτήν της βενζίνης που τροφοδοτείται από το κύκλο Otto στο ότι χρησιμοποιεί υψηλότερη συμπίεση των καυσίμων για την έναυση του καυσίμου αντί της χρήσης ενός μπουζί ("ανάφλεξη με συμπίεση" αντί για "ανάφλεξη με σπινθήρα").

Στη μηχανή diesel, ο αέρας συμπιέζεται αδιαβατικά με μια αναλογία συμπίεσης χαρακτηριστικά μεταξύ 15 και 20. Αυτή η συμπίεση αυξάνει τη θερμοκρασία στη θερμοκρασία ανάφλεξης του μίγματος καυσίμων που διαμορφώνεται με την έγχυση των καυσίμων εφόσον έχει ολοκληρωθεί η συμπίεση του αέρα.

Το ιδανικό τυποποιημένο κύκλο αέρα μοντελοποιείται σαν μια αντιστρεπτή αδιαβατική συμπίεση που ακολουθείται από μια σταθερής πίεσης διαδικασία καύσης, έπειτα μια αδιαβατική εκτόνωση που συνοδεύεται με παραγωγή έργου και μια ισόχωρη εξάτμιση. Νέος αέρας εισέρχεται στο τέλος της εξάτμισης, όπως υποδεικνύεται από τις διαδικασίες α-ε-α στο διάγραμμα.



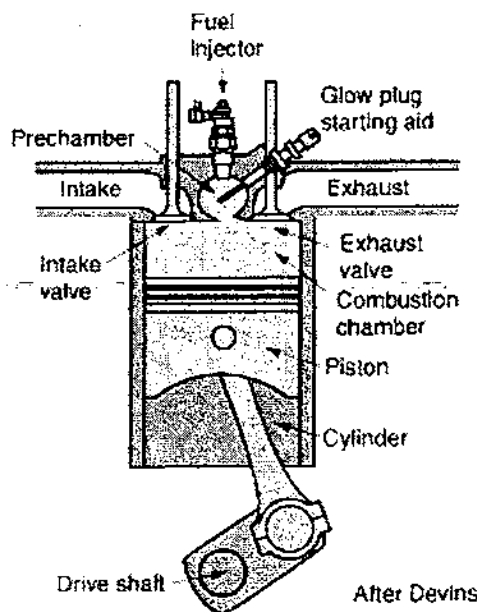
Air standard diesel engine cycle

Δεδομένου ότι οι χρόνοι συμπίεσης και δύναμης αυτού του εξιδανικευμένου κύκλου είναι αδιαβατικοί, ο βαθμός απόδοσης μπορεί να υπολογιστεί από τις διαδικασίες σταθερής πίεσης και σταθερού όγκου. Οι ενέργειες εισαγωγής και εξαγωγής και ο βαθμός απόδοσης μπορούν να υπολογιστούν από τις θερμοκρασίες και τις ειδικές θερμότητες:

$$Q_1 = C_p(T_c - T_b)$$

$$Q_2 = C_v(T_a - T_d)$$

$$\text{Efficiency} = \eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$$



Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

After Devins

Είναι κατάλληλο να εκφραστεί αυτός ο βαθμός απόδοσης από την άποψη του λόγου συμπίεσης  $r_C = V_1/V_2$  και του λόγου εκτόνωσης  $r_E = V_1/V_3$ . Ο βαθμός απόδοσης μπορεί να γραφτεί :

$$\eta = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 + \frac{C_V(T_a - T_d)}{C_P(T_c - T_b)}$$

και να προκύψει τελικά η σχέση :

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{r_E^{-\gamma} - r_C^{-\gamma}}{r_E^{-1} - r_C^{-1}} \quad \boxed{\text{Δείξε}}$$

Για μια τυποποιημένη μηχανή αέρα με  $\gamma = 1,4$ , λόγο συμπίεσης  $r_C = 15$  και λόγο επέκτασης  $r_E = 5$ , δίνουν έναν ιδανικό βαθμό απόδοσης diesel 56%.

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

Για ένα κύκλο diesel για τον οποίο =

με λόγο συμπίεσης  $r_C =$

και λόγο εκτόνωσης  $r_E =$ ,

Ο ιδανικός βαθμός απόδοσης για το κύκλο είναι = %

Θεωρώντας ότι η πίεση του αέρα εισαγωγής  $P_a$  είναι η ατμοσφαιρική πίεση, 101,3 kPa = 0 psig \*, μετά το τέλος της αδιαβατικής συμπίεσης η πίεση θα γίνει :

$$P_b = P_a r_C^\gamma = \text{ kPa} = \text{ psig}^*.$$

Η θερμοκρασία μετά το τέλος της συμπίεσης είναι  $T_b = T_a r_C^{\gamma-1}$

η οποία για την αρχική θερμοκρασία  $T_a =$  K = °C

δίνει μια θερμοκρασία  $T_b =$  K = °C

Το κύκλο diesel εξαρτάται από το μέγεθος αυτής της θερμοκρασίας που είναι αρκετά υψηλό ώστε να αναφλέξει τα καύσιμα όταν εγχέονται .

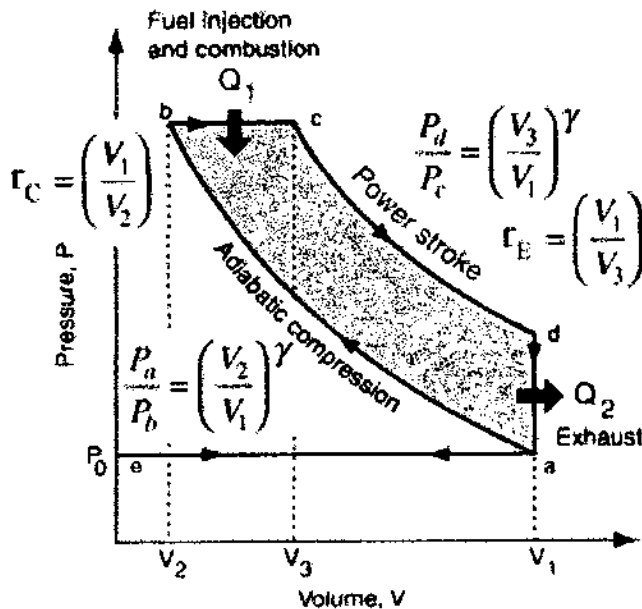
\*psig είναι λίβρες ανά τετραγωνική ίντσα μανομετρικής πίεσης. Τα κοινά μανόμετρα μετρούν την πίεση με στάθμη αναφοράς την ατμοσφαιρική πίεση.

Αναφορά  
Devins  
Ch 4

# Θεωρητικός Βαθμός Απόδοσης των Μηχανών Diesel

Δεδομένου ότι οι χρόνοι συμπίεσης και παραγωγής έργου αυτού του εξιδανικευμένου κύκλου είναι αδιαβατικοί, ο βαθμός απόδοσης μπορεί να υπολογιστεί από τις διαδικασίες σταθερής πίεσης και σταθερού όγκου. Οι ενέργειες εισαγωγής και εξαγωγής και ο βαθμός απόδοσης μπορούν να υπολογιστούν από τις θερμοκρασίες και τις ειδικές θερμότητες:

Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής



$$Q_1 = C_p(T_c - T_b)$$

$$Q_2 = C_v(T_a - T_d)$$

$$\text{Efficiency} = \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Αναφορές  
Devins  
Ch 4

## Τυποποιημένο κύκλο αέρα των μηχανών diesel

Είναι κατάλληλο να εκφραστεί αυτός ο βαθμός απόδοσης από την άποψη του λόγου συμπίεσης  $r_c = V_1/V_2$  και του λόγου εκτόνωσης  $r_E = V_1/V_3$ .

Ο βαθμός απόδοσης μπορεί να εκφραστεί από την άποψη των ειδικών θερμοτήτων και των θερμοκρασιών

$$\eta = 1 + \frac{C_v(T_a - T_d)}{C_p(T_c - T_b)}$$

Τώρα χρησιμοποιώντας τον νόμο των ιδανικών αερίων  $PV = nRT$  και  $\gamma = C_p/C_v$ , αυτό μπορεί να γραφτεί

$$\eta = 1 + \frac{1}{\gamma} \frac{P_a V_a - P_d V_d}{P_c V_c - P_b V_b}$$

Wark και  
Richards  
Ch 15



Τώρα χρησιμοποιώντας το γεγονός ότι  $V_a=V_d=V_1$  και  $P_c=P_b$  από το διάγραμμα

$$\eta = 1 + \frac{1}{\gamma} \frac{V_1(P_a - P_d)}{P_c(V_3 - V_2)}$$

Διαιρώντας τον αριθμητή και τον παρονομαστή με  $V_1 P_c$

$$\eta = 1 + \frac{1}{\gamma} \frac{\frac{P_a}{P_c} - \frac{P_d}{P_c}}{r_E^{-1} - r_C^{-1}}$$

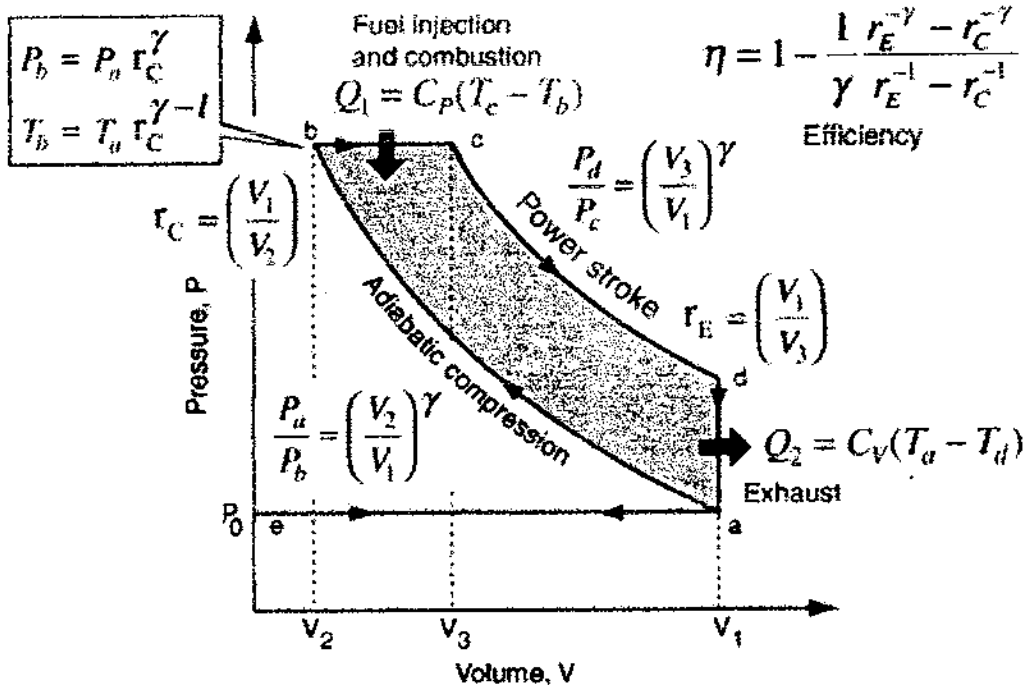
Τώρα χρησιμοποιώντας τον αδιαβατικό όρο  $PV^\gamma = \text{σταθερό}$ ,

$$\frac{P_a}{P_c} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma \quad \frac{P_d}{P_c} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^\gamma$$

το αποτέλεσμα μπορεί να γραφτεί

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{r_E^{-\gamma} - r_C^{-\gamma}}{r_E^{-1} - r_C^{-1}} \quad \boxed{\text{Υπολογισμός}}$$

# Κύκλο Μηχανών Diesel



Τυποποιημένο κύκλο αέρα των μηχανών diesel

Ο όρος "ανάφλεξη με συμπίεση" χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά στην τεχνική ορολογία για να περιγράψει τις σύγχρονες μηχανές που συνήθως αποκαλούνται "μηχανές diesel". Αυτός είναι σε αντίθεση με τον όρο "ανάφλεξη με σπινθηριστή" για τις χαρακτηριστικές μηχανές βενζίνης που λειτουργούν σύμφωνα με το κύκλο Otto. Ο Rudolph Diesel κατοχύρωσε το κύκλο συμπίεσης ανάφλεξης με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που φέρει την επωνυμία του στο 1890s.

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{r_E^{-\gamma} - r_C^{-\gamma}}{r_E^{-1} - r_C^{-1}}$$

Υπολογισμός

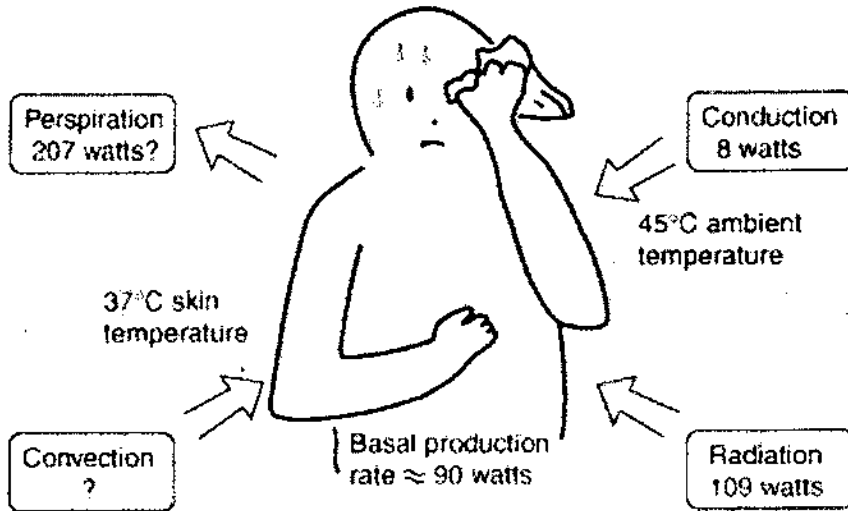
Αρχή  
Θερμικής  
μηχανής

Αναφορές  
Devins  
Ch 4

Wark και  
Richards  
Ch 15

# Ψύξη του Ανθρώπινου Σώματος

Αυτό είναι ένα ενεργό γραφικό. Τσεκάρεται πάνω σε έναν από τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας για μια συζήτηση για τον κάθε ρόλο στην ψύξη του ανθρώπινου σώματος.



Αρχή  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Ακόμα και αδρανής, ένας ενήλικας πρέπει να χάνει θερμότητα με ρυθμό περίπου 90 watts σαν αποτέλεσμα του βασικού μεταβολισμού του. Αυτό αποτελεί πρόβλημα όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι πάνω από την θερμοκρασία του σώματος, διότι όλοι οι τρεις συνηθής μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας επενεργούν ενάντια αυτής της απώλειας θερμότητας μεταφέροντας θερμότητα προς το σώμα. Η ικανότητα να επιβιώνουμε σε τέτοιες συνθήκες προέρχεται από την ικανότητα ψύξης από την εξάτμιση μέσω του ιδρώτα. Σε μια θερμοκρασία των 45 Celsius ή 113 Fahrenheit η διαδικασία της εξάτμισης πρέπει να ξεπερνά τη μετάδοση θερμότητας προς το σώμα και να αποβάλλει αρκετή θερμότητα ώστε να επιτυγχάνει το ποσό των 90 watt ροής της ενέργειας προς τα έξω. Λόγω των μηχανισμών της ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος, η θερμοκρασία του δέρματος θα αναμενόταν να αυξηθεί στους 37°C στο οποίο σημείο η εφίδρωση ξεκινάει και αυξάνει μέχρι η ψύξη λόγω εξάτμισης είναι επαρκής ώστε να κρατήσει το δέρμα στους 37°C εάν είναι δυνατόν. Με αυτές τις υποθέσεις για τις θερμοκρασίες, η σταθερά του νόμου των Stefan-Boltzmann για μια περιοχή των 2 m<sup>2</sup> και συντελεστή εκπομπής 0.97 δίνει ένα καθαρό ποσό μιας μέσης δύναμης των 109 watts προς το σώμα. Η εφίδρωση (ιδρώτας) της ψύξης πρέπει να υπερνικά αυτά και να παράγει ένα καθαρό ποσό εκροής των 90 watts για την ισορροπία.

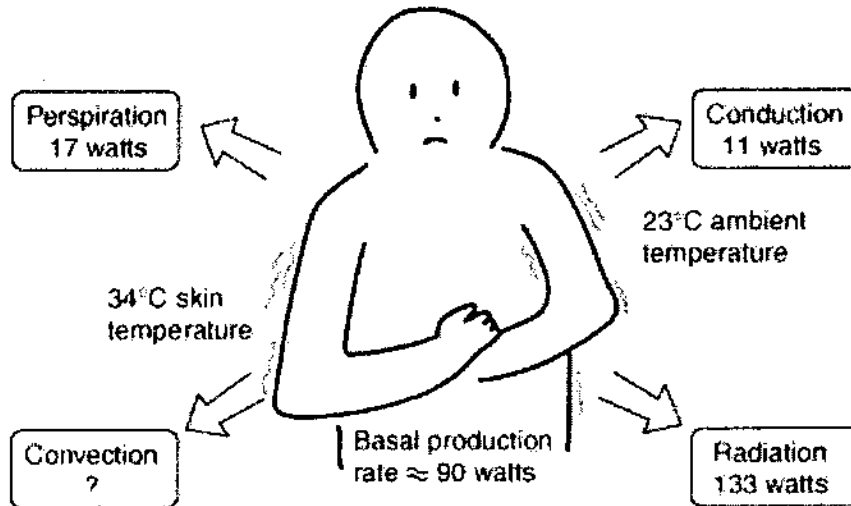
Παραδείγματα  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Τι γίνεται εάν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κάτω της θερμοκρασίας σώματος ;

Η Φυσιολογία του ορισμού της θερμοκρασίας

# Ψύξη του Ανθρώπινου Σώματος

Αυτό είναι ένα ενεργό γραφικό. Τσεκάρεται πάνω σε έναν από τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας για μια συζήτηση για τον κάθε ρόλο στην ψύξη του ανθρώπινου σώματος.



Αυτό είναι ένα απλοποιημένο μοντέλο της διαδικασίας από την οποία το ανθρώπινο σώμα αποβάλλει θερμότητα. Ακόμα και όταν είναι αδρανής, ένας ενήλικος άντρας πρέπει να αποβάλλει θερμότητα της τάξης περίπου των 90 watts σαν αποτέλεσμα του βασικού μεταβολισμού του. Ένα επαγωγικό συμπέρασμα, επομένως, του μοντέλου είναι ότι η ακτινοβολία είναι ο πιο σημαντικός μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας σε συνηθισμένες θερμοκρασίες δωματίου. Αυτό το μοντέλο υποδεικνύει ότι ένα γυμνό άτομο σε αδράνεια σε θερμοκρασία δωματίου 23 Celsius ή 73 Fahrenheit θα αισθανόταν έλλειψη άνεσης λόγω ψύχους. Διαλέξτε ένα από τους μηχανισμούς ψύξης για περισσότερες λεπτομέρειες για το πώς οι αριθμοί των μοντέλων λαμβάνονται. Η θερμοκρασία του δέρματος των 34 C είναι μια τυπική θερμοκρασία δέρματος που μπορεί να ληφθεί από κείμενα φυσιολογίας, συγκρινόμενα με την κανονική θερμοκρασία του σώματος των 37 C.

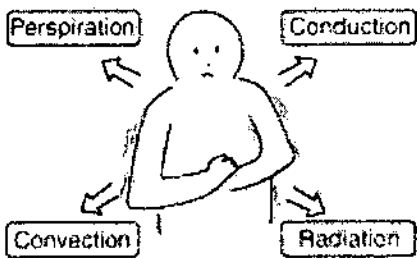
Τι γίνεται εάν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κάτω της θερμοκρασίας σώματος ;

Η Φυσιολογία του ορισμού της θερμοκρασίας

Αρχή  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
Θερμότητας

# Ψύξη του Σώματος με Αγωγή



Target cooling rate = 90 watts

$$\frac{Q}{t} = 10.5 \text{ watts}$$

**This model suggests that conduction alone cannot provide enough cooling.**

Η βασική εξίσωση μεταφοράς θερμότητας για την αγωγή είναι :

$$\frac{Q}{t} = \frac{kA(T_{hot} - T_{cold})}{d}$$

όπου σε αυτή την περίπτωση  $A$  θα ήταν η επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος και  $k$  η θερμική αγωγιμότητα του αέρα που θα περιέβαλε το σώμα.

- $A = 2 \text{ m}^2 = 2 \times 10^4 \text{ cm}^2$  A typical body area according to physiology texts.
- $k = 5.7 \times 10^{-5} \frac{\text{cal/s}}{\text{cm} \cdot \text{C}}$  For still air.
- $d = 5 \text{ cm}$  This is strictly an assumed distance from the skin for the temperature to drop to the ambient

Υπολογισμός παραμέτρων με άλλα πρότυπα

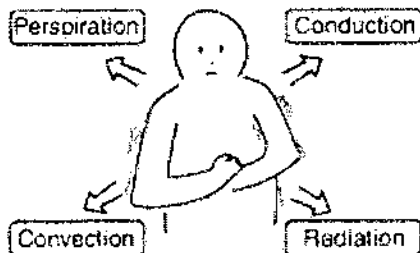
Συζήτηση για την υπόθεση του 'πάχους τοιχώματος'

Μοντελοποίηση της ψύξης του ανθρώπινου σώματος

Αρχή μεταφοράς Θερμότητας

Παραδείγματα μεταφοράς Θερμότητας

# Ψύξη του Σώματος με Μεταφορά



target cooling rate = 90 watts

Ο μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας, με μεταφορά περιλαμβάνει την μεταφορά της ενέργειας μέσω της κίνησης του μέσου μετάδοσης θερμότητας, σε αυτήν την περίπτωση ο αέρας περικλείει το σώμα. Η καλύτερη προσέγγιση σε μια εκτίμηση της απώλειας θερμότητας από αυτό τον μηχανισμό ίσως είναι ο υπολογισμός της θερμότητας που χάνεται κατά την αγωγιμότητα και να εισαχθεί το κατάλληλο πάχος τοιχώματος που

Εκτιμώντας το αποτέλεσμα της μεταγωγής θερμότητας ψύχοντας το σώμα, αυτό συσσωρεύεται με την αγωγιμότητα. Μαζί, αυτά δεν είναι επαρκή για την ψύξη (αποβολή θερμότητας) .

Αρχή μεταφοράς Θερμότητας

Παραδείγματα μεταφοράς Θερμότητας

χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της αγωγής ώστε να αντιλαμβάνεται και να υπολογίζει το γεγονός ότι η κίνηση του αέρα θα απομακρύνει το θερμό στρώμα που περιβάλλει το δέρμα και θα αυξάνει την μετάδοση της θερμότητας στον αέρα.

Μοντελοποίηση της ψύξης του ανθρώπινου σώματος

## Το "Πάχος τοιχώματος" στην ψύξη

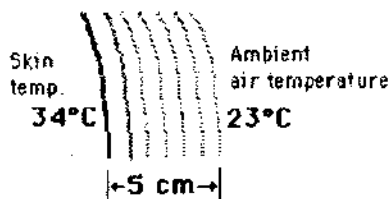
Το πάχος τοιχώματος  $d$  στην εξίσωση της μεταφορά θερμότητας με αγωγή :

$$\frac{Q}{t} = \frac{kA(T_{hot} - T_{cold})}{d}$$

έχει μια συγκεκριμένη σημασία όταν εξετάζεται η αποβολή θερμότητας δια μέσω του τοίχου ενός σπιτιού ή μέσω ενός δεδομένου πάχους υλικού, αλλά για την απώλεια της θερμότητας από ένα θερμό αντικείμενο στον αέρα δεν υπάρχει αναγνωρίσιμη 'πλευρική πυκνότητα'. Για παράδειγμα η ψύξη του ανθρώπινου σώματος, μπορεί να δώσει μια εικόνα ορίζοντας το πάχος τοιχώματος ως την απόσταση μέσα στο περιβάλλον μέσον όπου η θερμοκρασία έχει πέσει στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αρχή μεταφοράς Θερμότητας

Παράδειγματα μεταφοράς Θερμότητας

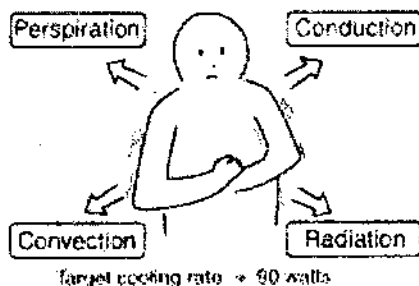


Εφόσον η αξίωση ότι η θερμοκρασία πέφτει από τους 34 C στην θερμοκρασία περιβάλλοντος σε μια απόσταση 5 cm για τον ήρεμο αέρα δεν είναι τίποτα άλλο από μια υπόθεση, αυτό εξυπηρετεί στο να επισημάνουμε αυτή τη σημαντική αρχή. Εάν ένας ανεμιστήρας διοχέτευε αέρα πάνω από το δέρμα, απομακρύνοντας το θερμό στρώμα του αέρα, η απώλεια της θερμότητας θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερη. Αυτό επίσης μπορεί να συζητηθεί επιπρόσθετα όσον αφορά τη μεταφορά θερμότητας.

Μοντελοποίηση της ψύξης του ανθρώπινου σώματος

## Ψύξη του Σώματος με Αγωγή

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)) .



Η βασική εξίσωση μεταφοράς θερμότητας για την αγωγή είναι :

$$\frac{Q}{t} = \frac{kA(T_{hot} - T_{cold})}{d}$$

όπου σε αυτή την περίπτωση  $A$  θα ήταν η επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος και  $k$  η θερμική αγωγιμότητα του αέρα που θα περιέβαλε το σώμα.

Τα δεδομένα μπορούν να εισαχθούν για τον καθένα από τους παρακάτω παραμέτρους, και ο ρυθμός της απώλειας θερμότητας με αγωγή μπορεί να υπολογισθεί. Οι προκαθορισμένες τιμές θα εισαχθούν για απροσδιόριστους παραμέτρους , αλλά όλες οι τιμές μπορούν να αλλάξουν.

Για μια επιφάνεια δέρματος  $A = \sqrt{\quad} \text{ m}^2$

Αρχή  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Και θερμική αγωγιμότητα του αέρα

$$k = \boxed{\phantom{00}} \times 10^{\boxed{\phantom{00}}} \text{ cal/cm C s} = \boxed{\phantom{00}} \times 10^{\boxed{\phantom{00}}} \text{ J/cm C s,}$$

Εάν το πάχος τοιχώματος για να φθάσουμε την θερμοκρασία

περιβάλλοντος είναι  $d = \boxed{\phantom{00}} \text{ cm}$

Και οι θερμοκρασίες είναι  $T_{\text{skin}} = \boxed{\phantom{00}} \text{ C}$  και  $T_{\text{ambient}} = \boxed{\phantom{00}} \text{ C}$

Τότε ο ρυθμός της απώλειας θερμότητας θα είναι :

$$Q/t = \boxed{\phantom{00}} \text{ watts.}$$

Παράδειγμα των παραμέτρων του ομοιώματος

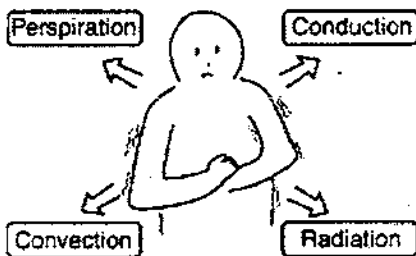
Συζήτηση για την υπόθεση του 'πάχους τοιχώματος'

Μοντελοποίηση της ψύξης του ανθρωπίνου σώματος



# Ψύξη του Σώματος με Ακτινοβολία

Η βασική εξίσωση της μεταφοράς θερμότητας για την ακτινοβολία είναι :



Target cooling rate = 90 watts

$$\frac{Q}{t} = 133 \text{ watts}$$

This suggests that radiation alone is more than adequate for the cooling of the body under these conditions!

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A (T_{\text{hot}}^4 - T_{\text{cold}}^4)$$

οπού το A είναι η επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος και το ε είναι ο συντελεστής εκπομπής του δέρματος. Σε αυτή την περίπτωση οι θερμοκρασίες πρέπει να είναι σε Kelvin.

$A = 2 \text{ m}^2 = 2 \times 10^4 \text{ cm}^2$  A typical body area according to physiology texts.

$\epsilon = .97$  Human skin is a near-ideal radiator in the infrared. For a perfect radiator  $\epsilon = 1$ .

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{watts}}{\text{m}^2 \text{ K}^4}$  Stefan-Boltzmann constant.

$T_{\text{hot}} = 307\text{K}, T_{\text{cold}} = 296\text{K}$

Αρχή  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com))

Δεδομένα μπορούν να εισαχθούν για όποια από τις παρακάτω παραμέτρους, και ο ρυθμός της απώλειας θερμότητας από την ακτινοβολία θα υπολογισθεί. Οι προκαθορισμένες τιμές θα εισαχθούν για ακαθόριστες παραμέτρους, αλλά όλες οι τιμές μπορούν να αλλάξουν.

Παράδειγματα  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Για μια περιοχή δέρματος  $A =$  .....  $\text{m}^2$

Και ο συντελεστής εκπομπής  $\epsilon =$  .....

Αν οι θερμοκρασίες είναι  $T_{\text{skin}} =$  .....  $^{\circ}\text{C} =$  ..... K

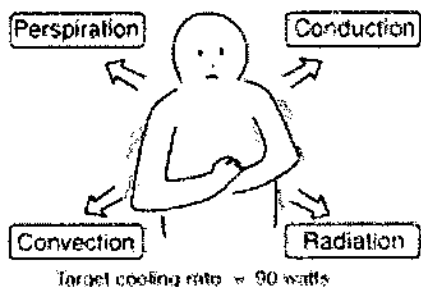
και  $T_{\text{ambient}} =$  .....  $^{\circ}\text{C} =$  ..... K

Τότε ο ρυθμός της απώλειας θερμότητας θα είναι :

$Q/t =$  ..... watts.

Μοντελοποίηση της ψύξης του ανθρώπινου σώματος

# Ρύθμιση της Θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος



Το ανθρώπινο σώμα έχει την αξιοπρόσεκτη ικανότητα να ρυθμίζει τη θερμοκρασία πυρήνων του κάπου μεταξύ 98F και 100F όταν η περιβαλλοντική θερμοκρασία είναι περίπου μεταξύ 68F και 130F σύμφωνα με τον Guyton. Αυτό συνεπάγεται ένα γυμνό σώμα και έναν ξηρό αέρα.

Οι εξωτερικοί μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας είναι οι ακτινοβολία, αγωγή, μεταγωγή και εξάτμιση εφίδρωσης. Η διαδικασία είναι κάτι πολύ περισσότερο από την παθητική λειτουργία αυτών των μηχανισμών μετάδοσης θερμότητας, εντούτοις. Το σώμα διαδραματίζει έναν πολύ ενεργό ρόλο στη ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Αναφορές

Guyton  
Ch. 47

Benzinger

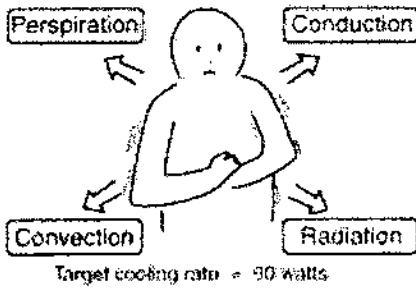
Hardy

Η θερμοκρασία του σώματος ρυθμίζεται από τους νευρικούς μηχανισμούς ανατροφοδότησης που λειτουργούν πρώτιστα μέσω του υποθαλάμου. Ο υποθάλαμος περιέχει όχι μόνο τους μηχανισμούς ελέγχου, αλλά και τους βασικούς αισθητήρες θερμοκρασίας. Υπό τον έλεγχο αυτών των μηχανισμών, ο ιδρώτας αρχίζει σχεδόν ακριβώς στη θερμοκρασία του δέρματος 37C και αυξάνεται γρήγορα καθώς η θερμοκρασία του δέρματος ανεβαίνει πάνω από αυτήν την τιμή. Η παραγωγή θερμότητας του σώματος υπό αυτές τις συνθήκες παραμένει σχεδόν σταθερή καθώς η θερμοκρασία του δέρματος αυξάνεται. Εάν η θερμοκρασία του δέρματος πέσει κάτω από 37C μια ποικιλία από αντιδράσεις αρχίζουν για να συντηρήσουν τη θερμότητα στο σώμα και για να αυξήσουν την παραγωγή θερμότητας. Αυτές συμπεριλαμβάνουν :

- Αγγειοσυστολή για να μειώσει τη ροή της θερμότητας στο δέρμα.
- Διακοπή της εφίδρωσης.
- Τρέμουλο για να αυξήσει την παραγωγή θερμότητας στους μυς.
- Έκκριση νορεπινεφρίνης, επινεφρίνης και θυροξίνης για να αυξήσει την παραγωγή θερμότητας.
- Στα μικρότερα ζώα, την ανέγερση των τριχών και της γούνας για να αυξήσει τη μόνωση.

Παρουσίαση της ψύξης του ανθρώπινου σώματος

# Ψύξη διαπνοής του σώματος



Όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι παραπάνω από τη θερμοκρασία σώματος, τότε η ακτινοβολία, η μετάδοση και η μεταφορά, όλοι αυτοί οι μηχανισμοί, θα μεταφέρουν θερμότητα προς το σώμα παρά προς τα έξω. Δεδομένου ότι πρέπει να υπάρξει μετάδοση θερμότητας προς τα έξω, οι μόνοι μηχανισμοί που λειτουργούν με αυτούς τους όρους είναι η εξάτμιση της διαπνοής από το δέρμα και η ψύξη εξάτμισης από την υγρασία. Ακόμα και όταν κάποιος είναι απληροφόρητος με τη διαπνοής, τα κείμενα φυσιολογίας αναφέρουν ένα ποσό περίπου 600 γραμμαρίων ανά ημέρα της "ελάχιστης απώλειας" υγρασίας του δέρματος.

$$\frac{Q}{t} = 17 \text{ watts}$$

Η επίδραση της ψύξης εξάτμισης της διαπνοής χρησιμοποιεί την πολύ μεγάλη θερμότητα εξάτμισης του νερού. Αυτή η θερμότητα εξάτμισης είναι 540 θερμίδες/ gm στο σημείο βρασμού, αλλά είναι ακόμα μεγαλύτερη, 580 θερμίδες/ gm, στην κανονική θερμοκρασία του δέρματος.

Γιατί η θερμότητα εξάτμισης είναι μεγαλύτερη στην θερμοκρασία σώματος;

$$\frac{Q}{t} = (600 \frac{\text{gm}}{\text{day}})(580 \frac{\text{cal}}{\text{gm}})(4.186 \frac{\text{J}}{\text{cal}})(\frac{1 \text{ day}}{24 \text{ hr}})(\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}}) = 17 \text{ watts}$$

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

Εάν το ποσοστό εξάτμισης της διαπνοής είναι  gm/ μέρα =  gm/ ώρα

Τότε ο ρυθμός της ψύξης είναι :

$$Q/t = \text{  watts.}$$

Ως μέρος της φυσιολογικής ρύθμισης της θερμοκρασίας σώματος, το δέρμα θα αρχίσει να ιδρώνει σχεδόν ακριβώς στους 37C και η διαπνοή θα αυξηθεί γρήγορα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του δέρματος. Ο Guyton αναφέρει ότι ένα τυπικό μέγιστο ποσοστό διαπνοής είναι περίπου 1,5 λίτρα/ ώρα, αλλά ότι μετά από 4 έως 6 εβδομάδες του εγκλιματισμού σε ένα τροπικό κλίμα, μπορεί να φθάσει σε 3,5 λίτρα/ ώρα! Θα έπρεπε να καθίσετε να πίνετε ασταμάτητα υγρά, για να κρατηθείτε και να μην αφυδατωθείτε. Εκείνο το μέγιστο ποσοστό αντιστοιχεί σε μια μέγιστη δύναμη ψύξης σχεδόν 2,4 κιλοβάτ!

Μεταφορά θερμότητας λόγω εξάτμισης | Ψύξη εξάτμισης

Μοντελοποιώντας την ψύξη του ανθρώπινου σώματος

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

Αναφορά  
Guyton  
Ch. 47

## Μεταφορά θερμότητας λόγω εξάτμισης

Εάν μέρος ενός υγρού εξατμίζεται, ψύχει το υγρό που απομένει επειδή πρέπει να αποβάλλει την απαραίτητη θερμότητα εξάτμισης από αυτό το υγρό προκειμένου να γίνει η αλλαγή φάσης στην αέρια κατάσταση. Είναι επομένως ένας σημαντικός μηχανισμός της μεταφοράς θερμότητας σε ορισμένες περιστάσεις, όπως η ψύξη του ανθρώπινου σώματος όταν υποβάλλεται σε περιβαλλοντικές θερμοκρασίες επάνω από την κανονική θερμοκρασία του σώματος.

Ψύξη εξάτμισης

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

## Ψύξη εξάτμισης

Λόγω της μεγάλης θερμότητας εξάτμισης του νερού, η εξάτμιση από μια υγρή επιφάνεια είναι ένας πολύ αποτελεσματικός μηχανισμός ψύξης. Το ανθρώπινο σώμα χρησιμοποιεί την ψύξη εξάτμισης με την διαπνοή για να αποβάλλει ενέργεια ακόμα και όταν περιβάλλεται από μια θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία σώματος. Η διαδικασία ψύξης είναι ένα παράδειγμα της προσέγγισης του θερμικού ισοδύναμου. Ο ρυθμός της ψύξης εξάτμισης δίνεται από :

$$\frac{Q}{t} = \frac{m L_v}{t} \quad \text{where } L_v = 539 \text{ cal/gm at } 100^\circ\text{C}$$

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).

Παράδειγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

Εαν  $m =$   gm του νερού στους  $100^\circ\text{C}$  εξατμίζονται σε

$t =$   sec, ο ρυθμός της ψύξης στους  $100^\circ\text{C}$  είναι

$Q/t =$   cal/s =  watts =  BTU/hr.

Θερμικό  
Ισοδύναμο

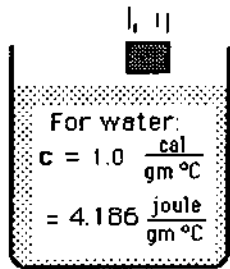
Ο ρυθμός της ψύξης για ένα υγρό (κάτω από τον βρασμό) είναι πιο περίπλοκο αφού η θερμότητα εξάτμισης μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, και ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την σχετική υγρασία.

Η Εξάτμιση σαν ένας μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας

# Ψύχοντας ένα ζεστό αντικείμενο

Η ψύξη ενός ζεστού αντικειμένου, σε ένα δοχείο με νερό, είναι ένα παράδειγμα προσέγγισης της θερμικής ισορροπίας. Το ποσό της ψύξης εξαρτάται από τον όγκο (ποσότητα), ειδικές θερμότητες και τις αρχικές θερμοκρασίες των αντικειμένων. Σε αυτό το παράδειγμα, η πιθανότητα της ατμοποίησης του νερού δεν έχει ληφθεί υπόψη, γεγονός που είναι μη ρεαλιστικό εάν η θερμοκρασία του ζεστού αντικειμένου είναι παραπάνω των 100 C.

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).



Ζεστό αντικείμενο	Δεξαμενή Νερού
Ποσότητα αντικειμένου = _____ gm	Ποσότητα νερού= _____ gm
Ειδική θερμότητα c = _____ cal/gm C = _____ joule/gm C	Αρχική θερμοκρασία νερού = _____ C
Αρχική θερμοκρασία = _____ C	

Heat lost by object = Heat gained by water

$$-Q_{\text{object}} = Q_{\text{water}}$$

$$-cm\Delta T_{\text{object}} = cm_w\Delta T_{\text{water}}$$

$$\left( \text{_____ cal/gm C} \right) \left( \text{_____ gm} \right) \left( \text{_____ } T_i \right) = \left( 1 \text{ cal/gm C} \right) \left( \text{_____ gm} \right) \left( T_f - \text{_____} \right)$$

$$\text{Final temperature } T_f = \text{_____ C}$$

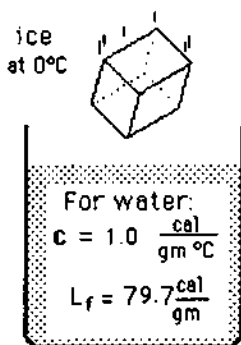
Αρχή  
μεταφοράς  
Θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
Θερμότητας

# Ψύξη με Πάγο

Η ψύξη ενός ποτού με έναν κύβο από πάγο είναι πιο αποτελεσματική από το να χρησιμοποιήσει κανείς κρύο νερό εξαιτίας της ενέργειας που απορροφάται από το ποτό για να λειώσει τον πάγο (θερμότητα της τήξης). Η ψύξη ενός δοχείου με νερό με μια μάζα από πάγο στους 0 C δείχνει εμφανώς την ενέργεια από την αλλαγή φάσης και την προσέγγιση της θερμικής ισορροπίας.

Το παράδειγμα που ακολουθεί παρατίθεται ενδεικτικά. Ο υπολογισμός των εμπλεκόμενων μεγεθών μπορεί να γίνει μόνο στο διαδίκτυο ([www.hyperphysics.com](http://www.hyperphysics.com)).



Προστιθέμενος Πάγος	Δοχείο Νερού
Μάζα του πάγου = _____ gm	Μάζα του νερού = _____ gm
	Αρχική Θερμοκρασία νερού = _____ C

$$c = 1 \frac{\text{cal}}{\text{gm } ^\circ\text{C}} = 4.186 \frac{\text{joule}}{\text{gm } ^\circ\text{C}}$$

$$Q_{\text{gained by ice}} = Q_{\text{lost by water}}$$

$$m_i L_f + c m_i (T_f - 0^\circ\text{C}) = c m_w (T_i - T_f)$$

$$T_f = \frac{m_i L_f + c m_i T_i}{m_i + c m_w}$$

Final temperature  $T_f =$  \_\_\_\_\_ C

Οι μάζες και η αρχική θερμοκρασία του νερού μπορούν να αλλάξουν. Ο υπολογισμός στο παραπάνω σχήμα προϋποθέτει ότι όλος ο πάγος λιώνει. Εάν δεν συμβαίνει κατ' αυτόν τον τρόπο τότε το παραπάνω αποτέλεσμα θα έδινε αρνητική θερμοκρασία, η οποία θα ήταν, φυσικά, αναληθής, διότι οι εκφράσεις για τις ειδικές θερμότητες που χρησιμοποιούνται δεν εφαρμόζονται όταν συμβεί αλλαγή φάσης. Εάν οι συνθήκες είναι τέτοιες ώστε να μη λειώσει όλος ο πάγος, τότε η τελική θερμοκρασία θα είναι 0C και κάποιο μέρος του πάγου θα παραμείνει χωρίς, τελικά, να λειώσει.

Πάγος που παραμένει χωρίς να λειώσει = \_\_\_\_\_ gm .

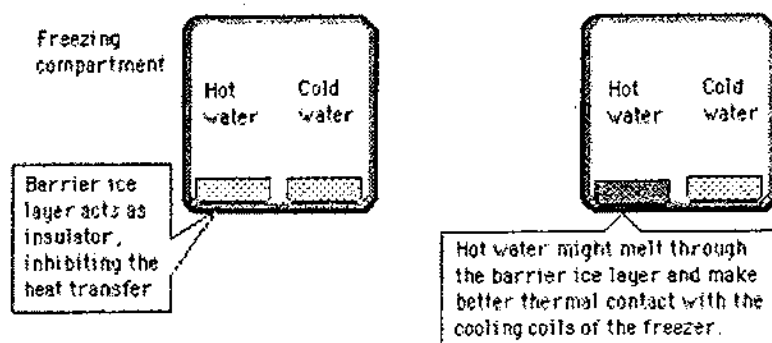
Αρχή μεταφοράς Θερμότητας

Παραδείγματα μεταφοράς Θερμότητας

Θερμική Ισορροπία

# Πάγωμα καυτού νερού

Η φήμη εμμένει ότι το καυτό νερό θα παγώσει γρηγορότερα από το κρύο νερό. Ηχεί αδικαιολόγητο επειδή το καυτό νερό έχει περισσότερη εσωτερική ενέργεια η οποία πρέπει να αφαιρεθεί προτού να μπορέσει να αρχίσει η αλλαγή φάσης. Ίσως αυτή η ιστορία είχε την προέλευσή της στις ημέρες των "no frost" ψυγείων στα οποία μια ιδιαίτερη συγκέντρωση του πάγου στους τοίχους του θαλάμου ψύξης ήταν ένα κοινό περιστατικό. Ο πάγος ενεργεί ως μονωτικό, εμποδίζοντας τη διαδικασία ψύξης.



Άλλο Σενάριο Επίδραση Μρεμπα

Ερωτήσεις Θερμότητας

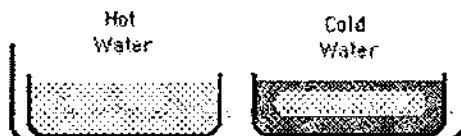
Αρχή  
Θερμότητας

Αρχή  
Μεταφοράς  
Θερμότητας

# Τι γίνεται με το αιφνιδιαστικό πάγωμα

Άλλο σενάριο που προτείνεται για την "ψύξη του καυτού νερού" είναι η δυνατότητα ψύξης κάτω του σημείου του πάγου και του αιφνιδιαστικού παγώματος από το καυτό νερό.

Hot water has a different history, having perhaps lost dissolved air and minerals in the hot water tank.



If cold water starts freezing first and freezes around the edges, it will form a barrier ice layer which inhibits the further heat transfer necessary for it to freeze solid.

Having fewer nucleation points for crystal formation, it may supercool and snap freeze.



If the previously hot water supercools and snap-freezes, it could become frozen solid before the cold water

Επίδραση Μρεμπα

Αρχή  
Θερμότητας

Αρχή  
Μεταφοράς  
Θερμότητας



## Η επίδραση Mpemba

Υπάρχει στην πραγματικότητα ένας μεγάλος όγκος της βιβλιογραφίας που αναφέρει ότι το καυτό νερό παγώνει γρηγορότερα από το κρύο νερό και αυτό το φαινόμενο έχει ονομαστεί η "επίδραση Mpemba" (βλ. τις αναφορές). Η λογοτεχνία που αναφέρεται εδώ υποστηρίζει τη θέση ότι το φαινόμενο της ψύξης κάτω από το σημείο του πάγου είναι ο κύριος μηχανισμός που σχετίζεται και ότι η ιστορία (διαλυμένα αέρια, κλπ....) δεν είναι κρίσιμη για το φαινόμενο. Η ψύξη κάτω του σημείου του πάγου στους  $-5\text{ C}$  ή και χαμηλότερα αναφέρει και προτείνει ότι και το αρχικά καυτό νερό και το αρχικά κρύο νερό μπορούν να ψυχθούν κάτω του σημείου του πάγου. Εάν το κρύο νερό ψυχθεί πάρα πολύ και κάτω του σημείου του πάγου, τότε το καυτό νερό μπορεί στην πραγματικότητα να ψυχθεί πολύ πιο γρήγορα με τον ίδιο βαθμό ψύξης κάτω του σημείου του πάγου και να διακριθούν τα δύο δείγματα. Επίσης επισημάνθηκε ότι ο βαθμός ψύξης κάτω του σημείου του πάγου δεν είναι εύκολα προβλέψιμος, δεδομένου ότι εξαρτάται πιθανώς από τα μικροσκοπικά μόρια ή τις φυσαλίδες που σχηματίζουν το πυρήνα του κρυστάλλου. Τα πειράματα παρουσίασαν διαφορετικές τιμές ψύξης κάτω του σημείου του πάγου για το ίδιο δείγμα όταν ήταν επανειλημμένα υγροποιημένο και ξαναπαγωμένο. Μερικές αναφορές είναι :

Knight, Charles A., The Mpemba Effect: The Freezing Times of Hot and Cold Water, Letter in Am J Phys, Vol 64, May 1996, p524

Auerbach, David, Supercooling and the Mpemba Effect: When Hot Water Freezes Faster Than Cold, Am J Phys. 63, 882-885, (1995)

Dorsey, N.E., Am. Philos. Soc. 38, 247-328, (1948).

Dorsey, N.E., The Properties of Ordinary Water Substance, Reinhold, Scranton, PA., (1940).

Αρχή  
Θερμότητας

Αρχή  
Μεταφοράς  
Θερμότητας

## Ερωτήσεις Θερμότητας

?	Πώς συμβαίνει να έχετε στους 0 C και νερό και πάγο και στους 100 C και νερό και ατμό; Πολλή ενέργεια πηγαίνει σε αυτές τις αλλαγές φάσης. Γιατί δεν αλλάζει η θερμοκρασία;
?	Εάν έχετε χάλυβα και ξύλο σε 0 C, ποιο αισθάνεται πιο κρύο; Εάν έχετε χάλυβα και ξύλο σε 100 C, ποιο αισθάνεται πιο ζεστό;
?	Το καυτό νερό θα παγώσει με κύβους πάγου γρηγορότερα από το κρύο νερό στον καταψύκτη σας;
?	Εάν έχετε ένα φλιτζάνι καφέ που είναι πάρα πολύ καυτό για να το πιείτε, θα έπρεπε να προσθέσετε κρέμα σε αυτόν αμέσως για να τον κρυώσετε ή να τον αφήσετε μαύρο (σκέτος) και να καθίσει για λίγο πριν προσθέσετε την κρέμα; Το ρόφημα πρέπει να είναι αρκετά κρύο στο μικρότερο δυνατό χρόνο για να το πιείτε.
?	Ποια είναι η διαφορά μεταξύ της εξάτμισης και της βράσης;
?	Εάν θερμάνετε ένα ομοιόμορφο μεταλλικό πιάτο με μια τρύπα μέσα του, η τρύπα θα γίνει μεγαλύτερη ή μικρότερη;
?	Η ροή θερμότητας είναι κανονικά από μια υψηλής θερμοκρασίας προς μια χαμηλής θερμοκρασίας περιοχή. Πώς κατορθώνετε να κρυώσετε το σώμα σας μια ημέρα του Ιούλη όταν η θερμοκρασία είναι 102 F (έναντι της κανονικής θερμοκρασίας του σώματος 98,6 F);
?	Ο καθένας ξέρει ότι η θερμότητα ρέει από μια καυτή περιοχή σε μια κρύα περιοχή. Πώς τότε το ψυγείο σας μπορεί και μεταφέρει την θερμότητα από το παγωμένο εσωτερικό του προς το θερμό εξωτερικό του, αφού είναι "ανήφορος" για τη θερμότητα ;

Θερμοκρασιακή

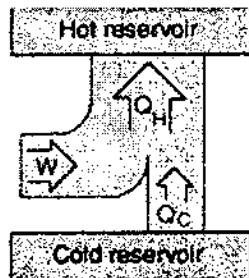
Αρχή

## Αντλία Θερμότητας

Μια αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που παίρνει το προσφερόμενο (προσδιδόμενο) έργο ώστε να εξαγάγει ένα ποσό  $Q_C$  θερμότητας από ένα ψυχοδοχείο και παραδίδει τη θερμότητα  $Q_H$  σε ένα θερμοδοχείο. Μια αντλία θερμότητας υπόκειται στους ίδιους περιορισμούς από τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής όπως κάθε άλλη θερμική μηχανή και επομένως ένας μέγιστος βαθμός απόδοσης μπορεί να υπολογιστεί από το κύκλο Carnot. Οι αντλίες θερμότητας χαρακτηρίζονται συνήθως από έναν συντελεστή απόδοσης ο οποίος είναι ο αριθμός των μονάδων της ενέργειας που παραδίδονται στο θερμοδοχείο ανά εισαγωγή μονάδων έργου.

Αρχή  
θερμικών  
μηχανών

All real refrigerators and heat pumps require work to get heat to flow from a cold area to a warmer area.



$$\text{Coefficient of Performance} = \frac{Q_H}{W}$$

General definition

$$CP = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \rightarrow \frac{T_H}{T_H - T_C}$$

Limit for ideal Carnot case  
Ideal coefficient of performance

Γενικά σχόλια στα κλιματιστικά μηχανήματα και τις αντλίες θερμότητας

## Κλιματιστικά μηχανήματα και αντλίες θερμότητας

Τα κλιματιστικά μηχανήματα και οι αντλίες θερμότητας είναι θερμικές μηχανές όπως το ψυγείο. Κάνουν καλή χρήση της υψηλής ποιότητας και της ευελιξίας της ηλεκτρικής ενέργειας δεδομένου ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια μονάδα της ηλεκτρικής ενέργειας για να μεταφέρουν περισσότερες από μια μονάδες της ενέργειας από μια κρύα σε μια καυτή περιοχή. Παραδείγματος χάριν, μια θερμάστρα με ηλεκτρική αντίσταση που χρησιμοποιεί 1 kilowatt-hour (κιλοβατόρα) της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταφέρει μόνο 1 kWh της ενέργειας για να θερμάνει το σπίτι σας με βαθμό απόδοσης 100%. Αλλά 1 kWh της ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε σε μια ηλεκτρική αντλία θερμότητας θα μπορούσε "να αντλήσει" 3 kWh της ενέργειας από το κρύο εξωτερικό περιβάλλον στο σπίτι σας για θέρμανση. Ο λόγος της ενέργειας που μεταφέρεται στην ηλεκτρική ενέργεια και που χρησιμοποιείται στη διαδικασία καλείται συντελεστής απόδοσης (CP) του. Ένας τυπικός CP για μια εμπορική αντλία θερμότητας είναι μεταξύ 3 με 4 μονάδων που

Αρχή  
διαγράμματος  
PV

Αρχή  
θερμικών  
μηχανών

μεταφέρονται ανά μονάδα της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται.

Σκίτσο Ενεργειακής ροής των Αντλιών θερμότητας

Συντελεστής απόδοσης

Λόγος ενεργειακού βαθμού απόδοσης

## Συντελεστής Απόδοσης

Ο συντελεστής απόδοσης (CP) για μια αντλία θερμότητας είναι ο λόγος της ενέργειας που μεταφέρεται για τη θέρμανση στην ηλεκτρική ενέργεια εισαγωγής που χρησιμοποιείται στη διαδικασία. Όσον αφορά στην τυποποιημένη απεικόνιση των θερμικών μηχανών, ο συντελεστής απόδοσης καθορίζεται από:

$$\text{Coefficient of Performance} = \frac{Q_H}{W}$$

Αρχή  
διαγράμματος  
PV

Υπάρχει ένα θεωρητικό μέγιστο CP, αυτό του Κύκλου Carnot :

$$\begin{array}{l} \text{General definition} \\ \text{CP} = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \end{array} \Rightarrow \frac{T_H}{T_H - T_C}$$

Limit for ideal Carnot case  
Ideal coefficient of performance

Αρχή  
θερμικών  
μηχανών

Για ένα ψυγείο, εντούτοις, η χρήσιμη ποσότητα είναι η θερμότητα που αποβάλλεται,  $Q_C$ , όχι η θερμότητα που αντλείται. Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης ενός ψυγείου εκφράζεται ως:

$$CP_{\text{Refrigerator}} = \frac{Q_c}{W}$$

Για τα καταναλωτικά ψυγεία στις Η.Π.Α., ο συντελεστής απόδοσής τους ανασηματίζεται χαρακτηριστικά σε έναν αριθμό αποκαλούμενο ως λόγος ενεργειακού βαθμού απόδοσης.

## Λόγος Ενεργειακού Βαθμού Απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης των κλιματιστικών μηχανημάτων και των αντλιών θερμότητας που πωλούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες δηλώνονται συχνά από την άποψη του λόγου ενεργειακού βαθμού απόδοσης (EER):

$$\text{ENERGY EFFICIENCY RATIO (EER)} = \frac{\text{Cooling power (BTU/hour)}}{\text{Electric input (watts)}}$$

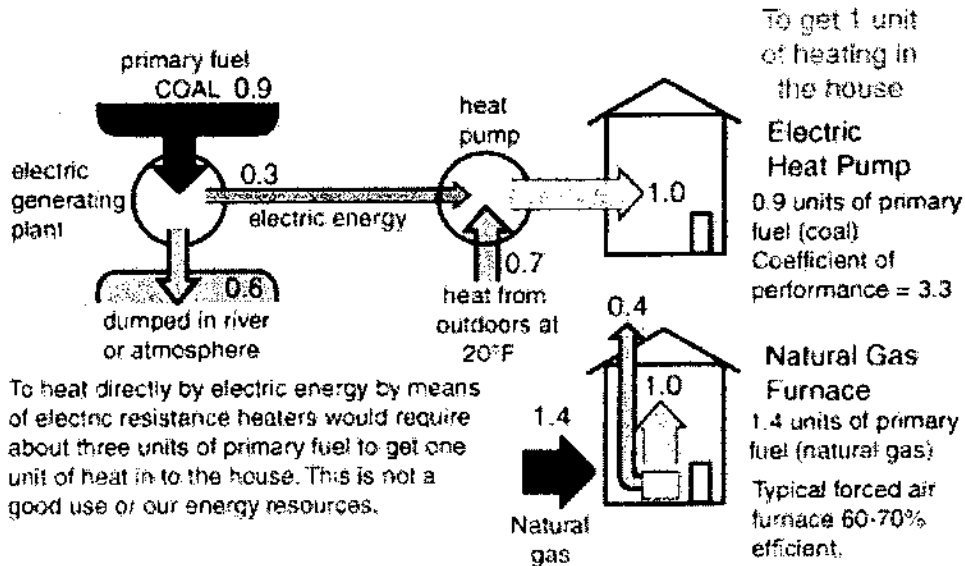
Αυτός ο ιδιαίτερος λόγος μπορεί να συγκριθεί με τον απλούστερο συντελεστή απόδοσης με τη μετατροπή BTU/hr σε watts:

$$\left[ \frac{1 \text{ BTU}}{\text{hour}} \right] \left[ \frac{1054 \text{ joule}}{\text{BTU}} \right] \left[ \frac{1 \text{ hour}}{3600 \text{ sec}} \right] = 0.292 \text{ watts}$$

Επομένως  $CP = EER \times 0.292$ . Οι τιμές του EER's για τα κλιματιστικά μηχανήματα είναι τυπικά περίπου 5.5 με 10.5 με αυτές τις μονάδες για τις οποίες  $EER > 7.5$  να είναι ταξινομημένες σαν "υψηλού βαθμού απόδοσης" εγκαταστάσεις. Αυτή είναι μια ακτίνα από 1.6 ως 3.1 του CP.

Αρχή  
θερμικών  
μηχανών

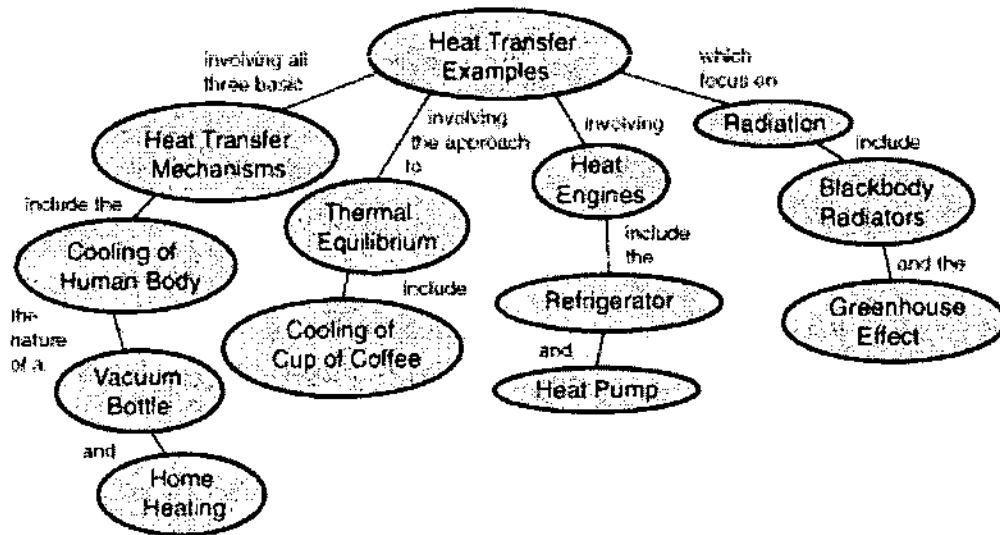
# Ενεργειακή ροή των Αντλιών Θερμότητας



Αρχή  
θερμικών  
μηχανών

Η ηλεκτρική αντλία θερμότητας μπορεί να υπερνικήσει τη θερμικό περιορισμό που επιβάλλεται από το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής με σκοπό τη θέρμανση ενός σπιτιού. Όπως παρουσιάζει η απεικόνιση, μια ηλεκτρική αντλία θερμότητας μπορεί να προσδώσει περισσότερη θερμότητα σε ένα σπίτι από ότι αν καίγαμε αρχικά καύσιμα με βαθμό απόδοσης 100% μέσα στο σπίτι. Αυτός είναι υψηλότερος βαθμός απόδοσης από έναν τυπικό φούρνο αέρα φυσικού αερίου που χρησιμοποιεί αρχικά καύσιμα στο σπίτι. Ωστόσο, αυτή η σύγκριση δεν είναι αρκετά δίκαιη στο φυσικό αέριο, δεδομένου ότι μπορείτε να αγοράσετε φούρνους φυσικού αερίου που απελευθερώνουν την ενέργεια αερίου ως θέρμανση με βαθμό απόδοσης πάνω από 90%.

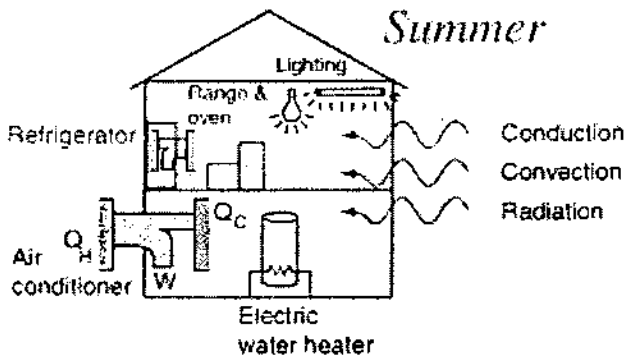
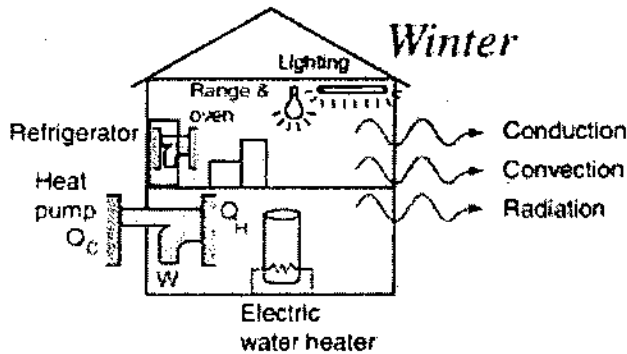
Παράδειγμα του κόστους της θέρμανσης ενός σπιτιού.



Χρήση της Οικιακής Ενέργειας

# Χρήση της Οικιακής Ενέργειας

Αυτό είναι ένα ενεργό γραφικό. Χτυπήστε σε οποιαδήποτε ενεργειακή χρήση για λεπτομέρειες.



Όταν εξετάζεται η ανάγκη να συντηρηθεί η ενέργεια στο σπίτι σας, τότε η εστίαση πρέπει να είναι κυρίως στις διαδικασίες θέρμανσης και ψύξης. Είναι οι σημαντικότερες χρήσεις της ενέργειας. Η θέρμανση του νερού είναι επίσης μια αρκετά μεγάλη χρήση της ενέργειας, όπως είναι η διαδικασία μαγειρέματος με τα ηλεκτρικά μάτια και το φούρνο. Η χρήση της ενέργειας από ένα ψυγείο είναι σημαντική, και η εγκατάσταση φωτισμού για ένα ολόκληρο σπίτι είναι μια σημαντική ενεργειακή χρήση. Οι ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιούν γενικά ένα μικρό ποσό ενέργειας, και δεν αποτελούν ένα μεγάλο μέρος των πρωτοβουλιών της ενεργειακής συντήρησης.

Αρχή  
θερμικής  
ενέργειας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

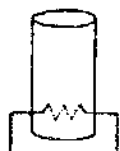
Σχόλιο στο ενεργειακό κόστος | Μονάδες ενέργειας

Πίνακας των R-τιμών μόνωσης



## Ηλεκτρικός Θερμοσίφωνα

Οι συνηθέστεροι χρησιμοποιούμενοι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνα στις ΗΠΑ χρησιμοποιούν ένα στοιχείο ηλεκτρικής αντίστασης για να θερμάνουν το νερό άμεσα. Μερικοί εμπορικοί θερμοσίφωνα υιοθετούν την αρχή των αντλιών θερμότητας και είναι επομένως αποδοτικότεροι ίσως από έναν που αναλύεται σε τρεις συνιστώσες, αλλά δεν είναι διαθέσιμοι στην αγορά. Μερικές φορές οι επιχειρήσεις ηλεκτρικών συσκευών, λόγω της υπερενθουσιώδους εμπορικής στρατηγικής τους, παρουσιάζουν σχεδόν 100% βαθμό απόδοσης σε αυτούς τους θερμοσίφωνα. Αυτό είναι παραπλανητικό εξαιτίας του θερμικού περιορισμού στις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αφού περίπου τρεις μονάδες των αρχικών καυσίμων χρησιμοποιούνται για να παραγάγουν μια μονάδα της παραδοθείσας ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ο πραγματικός βαθμός απόδοσης είναι κοντά στο 33%. Οι θερμοσίφωνα φυσικού αερίου με βαθμό απόδοσης 60-70% είναι επομένως περίπου δύο φορές αποδοτικότεροι στη χρήση των ενεργειακών πόρων από τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα.



Electric water heater

Αρχή θερμικής  
ενέργειας

Η απαραίτητη ενέργεια στη θέρμανση του νερού καθορίζεται από την ειδική θερμότητα του νερού:

$$c_{\text{νερού}} = 1 \text{ calorie/gm } ^\circ\text{C} = 4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C} = 1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F}$$

Ένας τυπικός αμερικάνικος θερμοσίφωνα θα ληφθεί ως ένας που έχει χωρητικότητα 40 αμερικάνικων γαλονιών (= 320 λίβρες, 145 κιλά, 151 λίτρα). Η τυπική διακύμανση της θέρμανσης θα είναι από 60 F έως 140 F (15,6 C ως 60 C). Η ενέργεια που απαιτείται για να θερμανθεί το νερό μπορεί να καθοριστεί από τη σχέση της ειδικής θερμότητας :

$$Q = cm\Delta T$$

Η ενέργεια που απαιτείται για να θερμανθεί μια δεξαμενή νερού όσον αφορά τη διευκρινισμένη διακύμανση είναι τότε :

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

$$(1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F})(320 \text{ lb})(140^\circ\text{F} - 60^\circ\text{F}) = 25,600 \text{ BTU}$$

ή

$$(4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(145 \text{ kg})(60^\circ\text{C} - 15.6^\circ\text{C}) = 26.9 \text{ million Joules}$$

Δεδομένου ότι 1 kilowatt-hour είναι 3,6 εκατομμύρια Joules, αυτή η ενέργεια ανέρχεται σε περίπου 7,5 kWh της ηλεκτρικής ενέργειας. Παίρνοντας ένα ηλεκτρικό ενεργειακό κόστος των 9.5¢/kWh, θα κόστιζε περίπου 71¢ για να θερμάνει μια δεξαμενή νερού με έναν ηλεκτρικό θερμοσίφωνα, υποθέτοντας ότι όλη η ηλεκτρική ενέργεια πήγε στη θέρμανση του νερού.

Εάν χρησιμοποιείτε  γαλόνια καυτού νερού

και το ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειάς σας είναι  ¢/kWh

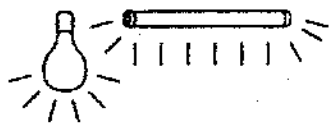
τότε το ενεργειακό κόστος σας θα είναι \$

Σχόλιο στο ενεργειακό κόστος Μονάδες Ενέργειας

Χρήση της οικιακής  
ενέργειας

## Οικιακός Φωτισμός

### Lighting



Αν και υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός επιλογών φωτισμού, η πλειοψηφία του φωτισμού στα σπίτια γίνεται είτε από πυρακτωμένα ή φθοριούχα φώτα. Ο φθοριούχος φωτισμός έχει ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα στον ενεργειακό βαθμό απόδοσης από τον πυρακτωμένο φωτισμό.

Άλλες επιλογές για το φωτισμό περιλαμβάνουν τους υψηλούς πίεσης λαμπτήρες υδραργύρου, τους λαμπτήρες μέταλλο-αλογονιδίων, και τους λαμπτήρες νατρίου. Με το γρήγορα αυξανόμενο βαθμό απόδοσης, το φως που εκπέμπει τις διόδους (LEDs) μπορεί να γίνει μια επιλογή φωτισμού για τις εξειδικευμένες εφαρμογές.

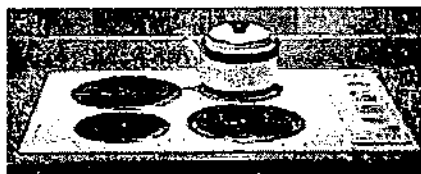
Σχόλιο στο ενεργειακό κόστος | Μονάδες Ενέργειας

Χρήση της οικιακής ενέργειας

Αρχή  
θερμικής  
ενέργειας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

## Ενέργεια για το Μαγείρεμα



Ένας φούρνος και τα ηλεκτρικά μάτια μιας κουζίνας για μαγείρεμα καταναλώνουν πολύ ενέργεια όταν χρησιμοποιούνται, αλλά η συνολική χρήση εξαρτάται από το πόσο εσύ μαγειρεύεις. Απεικονίζονται ένας ηλεκτρικός διπλός φούρνος και τα ηλεκτρικά μάτια. Εναλλακτικά, ο φούρνος και τα ηλεκτρικά μάτια μπορούν να λειτουργούν είτε με φυσικό αέριο είτε με προπάνιο. Η επιλογή γίνεται γενικά βάσει της προτίμησης, αλλά από μια ενεργειακή άποψη, το αέριο είναι περισσότερο αποδοτική ενέργεια. Ο λόγος είναι ότι παίρνει περίπου τρεις μονάδες των αρχικών καυσίμων στα προϊόντα μια μονάδα της ηλεκτρικής

Αρχή  
θερμικής  
ενέργειας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

ενέργειας λόγω του θερμικού περιορισμού στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας για τις συσκευές πρέπει να επιδεικνύονται σε μια εργαστηριακή ετικέτα κάπου στη συσκευή. Η τάση για αυτές τις συσκευές είναι 240 βολτ, εναλλασσόμενο ρεύμα 60 Hz. Οι ετικέτες θα δώσουν μερικές φορές το ρεύμα, από το οποίο μπορείτε να υπολογίσετε τον βαθμό απόδοσης χρησιμοποιώντας τη σχέση δύναμης. Δεδομένου ότι αυτές οι συσκευές είναι σχεδόν απόλυτα ανθεκτικές, τότε η σχέση συνεχούς ρεύματος (δηλ., ακριβώς χρονικό ρεύμα τάσης) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια καλή προσέγγιση. Αυτές οι συσκευές λειτουργούν με ονομαστική ισχύ 7,4 κιλοβάτ για τα ηλεκτρικά μάτια και 7,2 kW για το φούρνο.

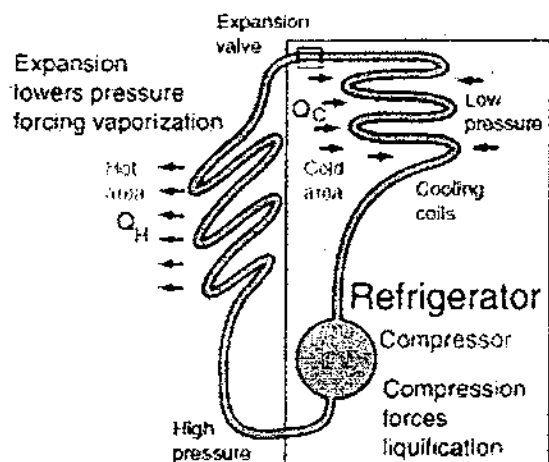
Χρησιμοποιημένα για μια πλήρη ώρα σε πλήρη δύναμη, τα ηλεκτρικά μάτια θα χρησιμοποιούσαν 7,4 kWh της ενέργειας, η οποία στα 9.5A/kWh κοστίζει ακριβώς 70¢. Θα ήταν σπάνιο να λειτουργήσει σε πλήρη δύναμη, έτσι γίνεται σαφές ότι το ενεργειακό κόστος μαγειρέματος δεν είναι συγκρίσιμο με αυτό της οικιακής θέρμανσης.

Σχόλιο στο ενεργειακό κόστος Μονάδες Ενέργειας

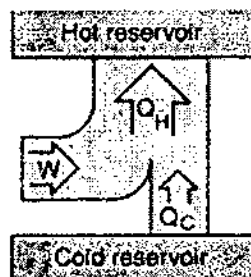
Χρήση της οικιακής ενέργειας

# Ψυγείο

Ένα ψυγείο είναι μια θερμική μηχανή στην οποία έργο εκτελείται από μια ψυκτική ουσία προκειμένου να συλλεχθεί ενέργεια από μια κρύα περιοχή και να την αποβάλλει σε μια περιοχή υψηλότερης θερμοκρασίας, ψύχοντας έτσι περαιτέρω την κρύα περιοχή.



All real refrigerators require work to get heat to flow from a cold area to a warmer area.



Παραδείγματα μεταφοράς θερμότητας

Αρχή Θερμικής μηχανής

Τα ψυγεία χρησιμοποιούν τους φθοριωμένους υδρογονάνθρακες με τις εμπορικές ονομασίες όπως φρέον-12, φρέον-22, κ.λ.π. που μπορούν να αναγκαστούν να εξατμιστούν και να συμπυκνωθούν έπειτα από διαδοχική ελάττωση και αύξηση της πίεσης. Μπορούν επομένως "να αντλήσουν" ενέργεια από μια κρύα περιοχή σε μια θερμότερη περιοχή με αποβολή θερμότητας εξάτμισης από την κρύα περιοχή και την αποβολή της στην θερμότερη περιοχή έξω από τα τοιχώματα του ψυγείου. Οι διαδικασίες αυτές για τα ψυγεία ισχύουν για τα κλιματιστικά μηχανήματα και τις αντλίες θερμότητας, οι οποίες ενσωματώνουν τις ίδιες αρχές.

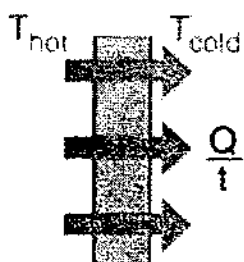
Αν και αυτές οι διαδικασίες λειτουργούν πολύ καλά και ισχύουν για δεκαετίες, οι κακές ειδήσεις που τις συνοδεύουν είναι ότι οι φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα είναι ισχυροί υπαίτιοι για την καταστροφή του όζοντος της ατμόσφαιρας. Επομένως, αυστηροί και αυστηρότεροι περιορισμοί λαμβάνονται για την χρήση τους.

Ροή θερμότητας στην θερμότερη περιοχή

# Υπολογίζοντας την Ενέργεια της Οικιακής Θέρμανσης

Η μετάδοση θερμότητας από το σπίτι σας μπορεί να εμφανιστεί από τη διεξαγωγή, τη μεταφορά και την ακτινοβολία. Διαμορφώνεται τυπικά από την άποψη της διεξαγωγής, αν και η διείσδυση αέρα μέσω των τοίχων και γύρω από τα ανοίγματα των παραθύρων μπορεί να συμβάλει μια σημαντική πρόσθετη απώλεια εάν δεν σφραγίζονται καλά. Η απώλεια λόγω ακτινοβολίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση μόνωσης από φύλλο αλουμινίου ως εμπόδιο ακτινοβολίας.

Η Αμερικάνικη βιομηχανία θέρμανσης και κλιματισμού χρησιμοποιεί σχεδόν εξ ολοκλήρου τις παλαιές βρετανικές και αμερικάνικες κοινές μονάδες για τους υπολογισμούς τους. Για τη συμβατότητα με τις συνήθεις ποσότητες που έχουν χρησιμοποιηθεί, αυτό το παράδειγμα θα εκφραστεί σε αυτές τις μονάδες:



$$\text{Heat loss rate} = \frac{Q}{t} = \frac{(\text{Area}) \times (T_{\text{inside}} - T_{\text{outside}})}{\text{Thermal resistance of wall}}$$

if  $Q/t$  is in BTU/hr  
Area in  $\text{ft}^2$   
 $T_{\text{in}} - T_{\text{out}}$  in  $^{\circ}\text{F}$

then the thermal resistance is the "R-factor" quoted by insulation manufacturers. The units of the "R-factor" are

$$\frac{\text{ft}^2 \times ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU/hr}}$$

For standard R11 wall insulation, you lose 1/11 BTU/hr per square foot of wall space, per degree Fahrenheit temperature difference.

Αρχή  
μεταφοράς  
θερμότητας

Παραδείγματα  
μεταφοράς  
θερμότητας

## I. Υπολογίστε το ρυθμό απώλειας των τοιχωμάτων σε BTUs ανά ώρα.

Για ένα δωμάτιο 10 ft επί 10 ft με οροφή 8 ft, με όλες τις επιφάνειες να μονώνονται με R19 όπως συστήνεται από το αμερικάνικο τμήμα ενέργειας (DOE), με εσωτερική θερμοκρασία 68F και εξωτερική θερμοκρασία 28F:

$$\text{Heat loss rate} = \frac{Q}{t} = \frac{(320 \text{ ft}^2) \times (68^{\circ}\text{F} - 28^{\circ}\text{F})}{19 \frac{\text{ft}^2 \times ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU/hr}}} = 674 \text{ BTU/hr}$$

## II. Υπολογίστε την απώλεια σε αυτές τις θερμοκρασίες ανά ημέρα.

$$\text{Απώλεια θερμότητας ανά ημέρα} = (674 \text{ BTU/hr})(24 \text{ hr}) = 16168 \text{ BTU}$$

Σημειώστε ότι αυτό είναι μόνο η απώλεια μέσω των τοιχωμάτων. Η απώλεια μέσω του πατώματος και της οροφής είναι ξεχωριστός υπολογισμός, και περιλαμβάνει συνήθως διαφορετικές R-τιμές.

### III. Υπολογίστε την απώλεια ανά "βαθμομέρα".

Αυτό είναι η απώλεια ανά ημέρα με διαφορά ενός βαθμού μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας.

$$\text{Loss per degree day} = Q = \frac{(320 \text{ ft}^2) \times (1^\circ\text{F})}{19 \frac{\text{ft}^2 \times ^\circ\text{F}}{\text{BTU/hr}}} \times 24 \text{ hr/day} = 404 \frac{\text{BTU}}{\text{degree day}}$$

Εάν οι όροι της περίπτωσης II επικρατούν όλη την ημέρα, θα απαιτούσατε 40 βαθμομέρες (degree-days) της θέρμανσης, και επομένως θα απαιτούσατε 40 degree-days X 404 BTU/degree day = 16168 BTU για να κρατήσετε σταθερή την εσωτερική θερμοκρασία.

### IV. Υπολογίστε την απώλεια θερμότητας για ολόκληρη την εποχή θέρμανσης.

Η τυπική απαίτηση θέρμανσης για την εποχή θέρμανσης της Ατλάντας (κρύα περιοχή), από τον Σεπτέμβριο μέχρι τον Μάιο, είναι 2980 βαθμομέρες (degree-days) (ένας μεγάλος μέσος όρος).

$$\text{Heat loss} = Q = 404 \frac{\text{BTU}}{\text{degree day}} \times 2980 \text{ degree days} = 1.20 \text{ million BTU}$$

Ο τυπικός αριθμός των βαθμομερών (degree-days) της θέρμανσης ή της ψύξης για μια δεδομένη γεωγραφική θέση μπορεί συνήθως να ληφθεί από την καιρική υπηρεσία.

### V. Υπολογίστε την απώλεια θερμότητας ανά εποχή θέρμανσης για ένα τυπικό μη μονωμένο νότιο σπίτι στην Ατλάντα.

Η σειρά του ρυθμού απώλειας από το DOE για τις τυπικές μη μονωμένες τυπικές κατοικίες είναι 15.000 έως 30.000 BTU/degree-day. Επιλέγοντας 25.000 BTU/degree-day :

$$\text{Heat loss} = Q = 25,000 \frac{\text{BTU}}{\text{degree day}} \times 2980 \text{ degree days} = 74.5 \text{ million BTU}$$

### VI. Υπολογίστε το ετήσιο κόστος θέρμανσης.

Υποθέστε το κόστος φυσικού αερίου \$12 ανά εκατομμύριο BTU σε έναν φούρνο που λειτουργεί με βαθμό απόδοσης 70% :

$$\left[ \frac{74.5 \text{ million BTU}}{0.70} \right] \left[ \frac{\$12}{\text{million BTU}} \right] = \$1277$$

Υποθέστε την θέρμανση με ηλεκτρική αντίσταση με βαθμό απόδοσης\* 100%, 9¢/kWh.

$$(7.45 \times 10^6 \text{ BTU})(2.93 \times 10^{-4} \text{ kWh/BTU})(\$0.09/\text{kWh}) = \$1965$$

Υποθέστε την ηλεκτρική αντλία θερμότητας με συντελεστή απόδοσης = 3

$$\frac{\$1965}{3} = \$655$$

\* ο βαθμός απόδοσης 100% για τη χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας στο σπίτι σας για να παραγάγει τη θερμότητα είναι ένα κοινό τέχνασμα μάρκετινγκ από τις επιχειρήσεις ηλεκτρικής χρησιμότητας. Είναι παραπλανητικό επειδή πρέπει να κάψετε περίπου 3 μονάδες των αρχικών καυσίμων για να παραλάβετε 1 μονάδα της ηλεκτρικής ενέργειας στο σπίτι σας εξαιτίας του θερμικού περιορισμού στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, η 100% αποδοτική χρήση στο σπίτι σας είναι περίπου 33% αποδοτική στη χρήση των αρχικών καυσίμων.

Όταν θερμαίνετε με φυσικό αέριο, χρησιμοποιείτε τα αρχικά καύσιμα στο σπίτι σας, και αυτό είναι σαφώς προτιμότερο από τη χρησιμοποίηση της θέρμανσης με ηλεκτρική αντίσταση, η οποία είναι σπάταλη λόγω της παραδοθείσας υψηλής ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Με τη χρησιμοποίηση μιας ηλεκτρικής αντλίας θερμότητας, τουλάχιστον στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες (θερμές περιοχές), έχετε συντελεστή απόδοσης περίπου 3 και έτσι υπάρχει ισορροπία εκείνης της απώλειας 3:1 στη διαδικασία παραγωγής. Στο ανωτέρω παράδειγμα, η ηλεκτρική αντλία θερμότητας είναι αρκετά φτηνότερη, αλλά αυτό είναι μάλλον ένα τεχνητό φαινόμενο λόγω των υψηλών τιμών φυσικού αερίου αυτήν την περίοδο. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων περίπου 25 ετών, το φυσικό αέριο και η ηλεκτρική θέρμανση με αντλίες θερμότητας έχουν μείνει συγκρίσιμα στο κόστος.

Σχόλιο στο Ενεργειακό κόστος	Μονάδες Ενέργειας
------------------------------	-------------------

Πίνακας των R-τιμών μόνωσης
-----------------------------

Χρήση Οικιακής Ενέργειας
--------------------------



# Σύστημα Ψύξης Αυτοκινήτου

Μια βενζινομηχανή αυτοκινήτου λειτουργεί σύμφωνα με ένα τροποποιημένο κύκλο Otto η οποία μπορεί να παράγει θερμοκρασίες μέσα στην περιοχή των 2500°C. Περίπου το 70% της ενέργειας από την καύση του καυσίμου μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτό απαιτεί ένα υψηλής ικανότητας σύστημα ψύξης ώστε να εμποδίσει την υπερθέρμανση της μηχανής. Οι πιο πρόσφατες μηχανές αυτοκινήτων είναι υδρόψυκτες. Το νερό έχει τα πλεονεκτήματα της μεγάλης θερμοχωρητικότητας, αλλά τα μειονεκτήματα του σχετικά υψηλού σημείου τήξης και του σχετικά χαμηλού σημείου βρασμού για τον σκοπό της αυτόματης ψύξης των μηχανών. Τυπικά μια μίξη της αιθυλαινογλυκόλης με το νερό χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα ψύξης για να μεταφέρει θερμότητα από το σώμα της μηχανής.

Το αποτέλεσμα της αιθυλαινογλυκόλης στα σημεία τήξης και βρασμού δείχνονται στον πίνακα.

Coolant	Pure Water	50/50 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	70/30 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
Freezing Point	0°C/32°F	-37°C/-35°F	-55°C/-67°F
Freezing Point	100°C/212°F	106°C/223°F	113°C/235°F

Το πλεονέκτημα του χαμηλότερου σημείου τήξης είναι φανερό, αλλά το αυξημένο σημείου βρασμού είναι επίσης σπουδαία και δημιουργεί την αντιψυκτική λύση σημαντική για το καλοκαίρι επιπλέον. Τα παραπάνω σημεία βρασμού είναι σε ατμοσφαιρική πίεση, αλλά μια υψηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας μπορεί να επιτευχθεί μέσω συμπίεσης του ρευστού του συστήματος ψύξης. Είναι τυπικό να έχεις ένα καπάκι πίεσης φορτισμένο με ελατήριο πάνω στο σύστημα ψύξης που θα επιτρέπει στην πίεση να αυξηθεί περίπου 14 με 15 lb/in<sup>2</sup> πάνω από την ατμοσφαιρική (δηλαδή επιτυγχάνεται μια απόλυτη πίεση περίπου δύο ατμοσφαιρών). Για ένα μείγμα ψύξης, αυτό μπορεί να αυξήσει το σημείο βρασμού κατά 25°C ή 45°F.

Αρχή  
Θερμικής  
Μηχανής

# Διμεταλλικά Ελάσματα

Η ένωση δύο μετάλλων με ανόμοιους συντελεστές θερμικής διαστολής μπορεί να παραγάγει χρήσιμες συσκευές για την ανίχνευση και την μέτρηση των θερμοκρασιακών αλλαγών. Ένα χαρακτηριστικό ζευγάρι είναι ορείχαλκος και χάλυβας με τυπικούς συντελεστές διαστολής 19 και 13 μερών ανά εκατομμύριο ανά βαθμό Κελσίου αντίστοιχα.

Brass

Steel

Straight at some reference temperature

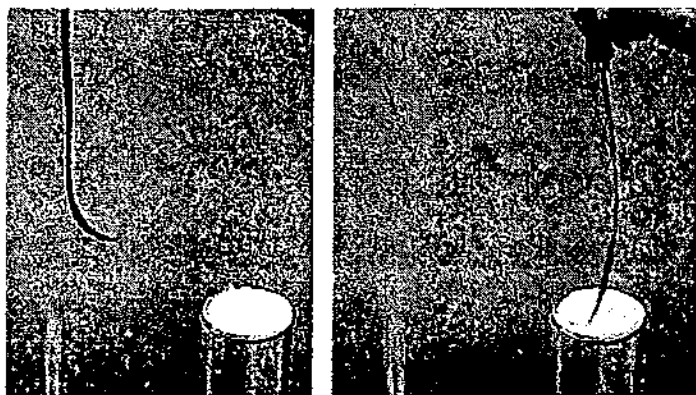
Hotter than the reference temperature; brass expands more and its greater length puts it on the outside of the curve.

Colder than the reference temperature; brass contracts more and its shorter length puts it on the inside of the curve

Τα παραδείγματα που παρουσιάζονται είναι ευθύγραμμα ελάσματα, αλλά τα διμεταλλικά ελάσματα φτιάχνονται σε σπείρες για να αυξηθεί η ευαισθησία τους στη χρήση στους θερμοστάτες. Μια από τις πολλές χρήσεις για τα διμεταλλικά ελάσματα είναι στους ηλεκτρικούς διακόπτες όπου η υπερβολική ροή ρεύματος θερμαίνει τα ελάσματα και τα κάμπτει έτσι ώστε να κλείσει ο διακόπτης και να διακοπεί το ηλεκτρικό ρεύμα.

Παράδειγμα με το Υγρό Άζωτο

# Διμεταλλικά Ελάσματα με Υγρό Άζωτο



Τα διμεταλλικά ελάσματα που δείχνονται είναι κατασκευασμένα από ορείχαλκο και ανοξείδωτο ατσάλι, με τον ορείχαλκο να έχει υψηλότερο συντελεστή θερμικής διαστολής. Ο ορείχαλκος είναι στα αριστερά στις φωτογραφίες. Τοποθετείται μέσα σε υγρό άζωτο (77K) και πάνω από έναν εργαστηριακό καυστήρα ( $T = ;$ ) τότε το έλασμα αποκλίνει σε αντίθετες κατευθύνσεις.

Θερμοκρασιακή Αρχή

Υγρό Άζωτο

Σημειώστε ότι το έλασμα αποκλίνει περισσότερο όταν τοποθετείται πάνω από τον καυστήρα από ότι όταν τοποθετείται μέσα σε υγρό άζωτο. Αυτό συνεπάγεται ότι η θερμοκρασία της φλόγας απέχει πιο πολύ (προς τα πάνω) από την θερμοκρασία δωματίου από ότι απέχει η θερμοκρασία του υγρού αζώτου από την θερμοκρασία δωματίου (προς τα κάτω), εάν ο συντελεστής διαστολής είναι ο ίδιος. (Προσέξτε τον πάγο που αναπτύσσεται πάνω στο διμεταλλικό έλασμα όταν πρωτοτοποθετείται πάνω από την φλόγα).

# Αναφορές στην Θερμότητα και την Θερμοδυναμική

Benzinger, T. H., Ρύθμιση Θερμότητας: ομοίωση της κεντρικής θερμοκρασίας στο άτομο, *Physiol. Rev.*, 49, 671, 1969.

Blatt, Frank J., *Modern Physics*, McGraw-Hill, (1992)

Buckingham, M. J. και Fairbank, W. M., "Η φύση της μετάβασης Λάμδα", σε Εξέλιξη στην Φυσική Χαμηλής Θερμοκρασίας III, 1961.

Devins, Delbert W., *Energy*, Είναι φυσικός αντίκτυπος στο Περιβάλλον, Wiley, 1982.

Fishbane, Paul M., Gasiorowicz, Stephen G., και Thornton, Stephen T., *Φυσική για Επιστήμονες και Μηχανικούς*, 3rd Ed., Prentice-Hall, 2005.

Guyton, Arthur C., *Βασική Ανθρώπινη Φυσιολογία: Κανονική λειτουργία και μηχανισμοί της ασθένειας*, W.B. Saunders Co, 1971.

Halliday & Resnick, *Βασικές Αρχές της Φυσικής*, 3E, Wiley 1988

Jones, Edwin R (Rudy) και Childers, Richard L, *Σύγχρονη Φυσική* κολεγίου, Addison-Wesley, 1990. 2nd Ed 1993. Ένα πολύ διαφωτιστικό εισαγωγικό κείμενο Φυσικής χωρίς υπολογισμούς.

Hardy, J. D. (ed), *Θερμοκρασία: Η μέτρηση και ο έλεγχός της στην επιστήμη και τη βιομηχανία. Επίπεδο ιατρικής της βιολογίας*, Pt. 3, Reinhold Publishing, 1963.

Kartha, Sivan and Grimes, Patrick, *Κυψέλες Καυσίμων: Ενεργειακή μετατροπή για τον επόμενο αιώνα*, *Physics Today* 47, 54, November 1994.

Kraushaar and Ristinen, *Ενέργεια και προβλήματα μιας τεχνικής κοινωνίας*, 2nd Ed, (1993)

Lide, David R., Ed., *CRC Εγχειρίδιο της Χημείας και της Φυσικής*, 75th Ed., Chemical Rubber Company, Boca Raton, FL, 1994.

Το Εθνικό Ερευνητικό Συμβούλιο, *Διεθνείς κρίσιμοι Πίνακες των αριθμητικών στοιχείων*, McGraw-Hill, 1926-33.

Nave, C. R. and Nave, B. C., *Φυσική για τις Επιστήμες Υγείας*, 3rd Ed., W. B. Saunders, 1985

Ohanian, Hans, *Φυσική*, 2E Expanded, WW Norton 1989

Richtmyer, Kennard και Cooper, *Εισαγωγή στην μοντέρνα Φυσική*, 6th Ed, McGraw-Hill, 1969. Αναφορά της ανάπτυξης της κατανομής της ταχύτητας Maxwell.

Χρησιμοποιούν τη μέθοδο του Lagrange των ακαθόριστων πολλαπλασιαστών για να μεγιστοποιήσουν την πιθανότητα που υπόκειται στους περιορισμούς του σταθερού αριθμού των μορίων και της συντήρησης της ενέργειας.

Rohlf, James William, Μοντέρνα Φυσική από το Α στο Ω, Wiley, 1994

Schroeder, Daniel V., Μια εισαγωγή στη Θερμική Φυσική, Addison Wesley, 2000.

Serway, Raymond, Φυσική για Επιστήμονες και Μηχανικούς με Μοντέρνα Φυσική, 3rd Ed, Saunders College Publishing, (1990)

Tipler, Paul A., Φυσική για Επιστήμονες και Μηχανικούς, 4th Ed., W.H. Freeman, (1999).

Trefil, James, "Πόσο καυτό θα το πάρετε;", Time Περιοδικό 154, November 8, 1999, p 112.

Wark, Kenneth και Richards, Donald E., Θερμοδυναμική, 6th Ed., McGraw-Hill, 1999.

Zemansky, Mark, " Η χρήση και η κακή χρήση της λέξης "θερμότητα" στη διδασκαλία Φυσικής ", δάσκαλος Φυσικής, Sep 1970 p295

Τοπικές αναφορές:

Το φαινόμενο Mpemba

Knight, Charles A., Το φαινόμενο Mpemba: Οι παγωμένοι χρόνοι του καυτού και του κρύου νερού, Letter in Am J Phys, Vol 64, May 1996, p524

Auerbach, David, Υπέρ-ψύξη και το φαινόμενο Mpemba: Όταν το καυτό ύδωρ παγώνει γρηγορότερα από το κρύο, Am J Phys. 63, 882-885, (1995)

Dorsey, N.E., Am. Philos. Soc. 38, 247-328, (1948).

Dorsey, N.E., Οι ιδιότητες της συνηθισμένης ουσίας ύδατος, Reinhold, Scranton, PA., (1940).

