

ΓΕΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ Ι

ΜΗΧΑΝΙΚΗ – ΚΥΜΑΤΙΚΗ -ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Υπό

Μ. Χανιά

Αν. Καθηγητή

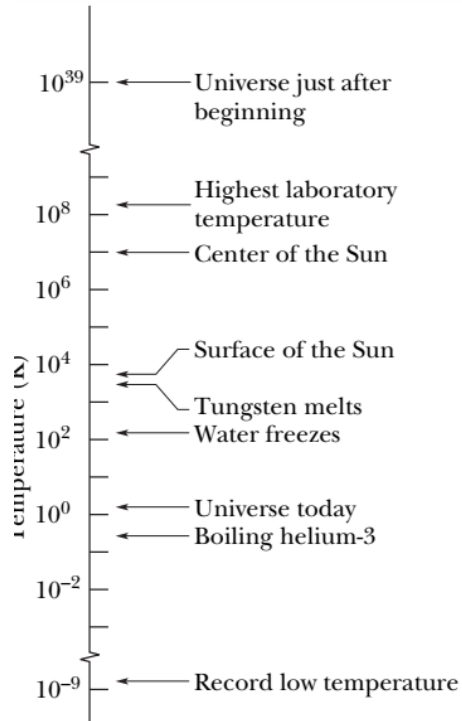
Τμήμα Φυσικής ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Καβάλα 2019

1 .ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ -ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Η θερμοδυναμική μελετάει την θερμική (εσωτερική ενέργεια)

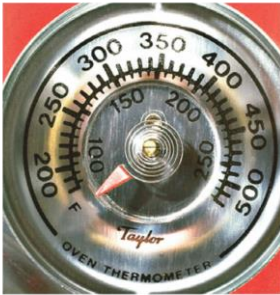
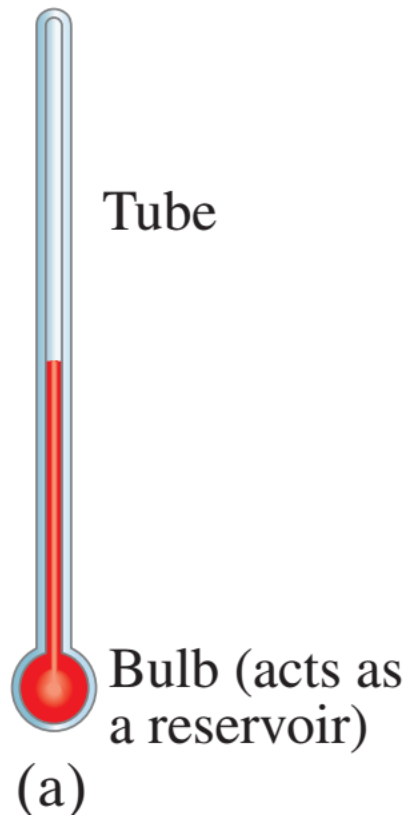
ΜΕΓΕΘΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΟΝΑΔΑ ΤΟ 1Κ (ΚΛΙΜΑΚΑ Kelvin)

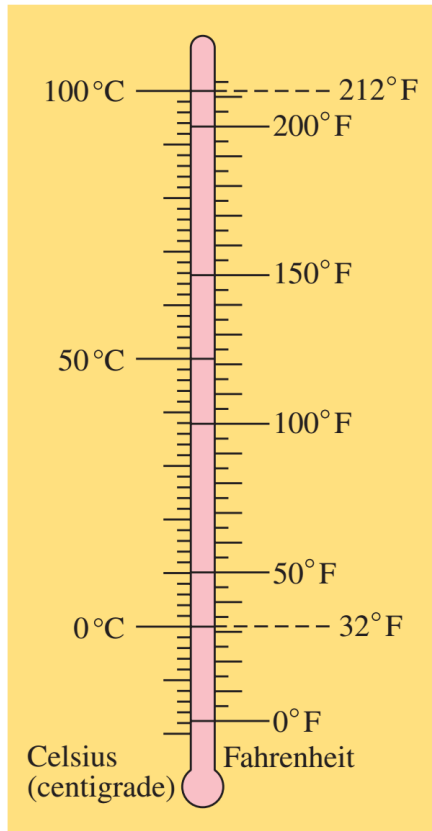


ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ 3Κ

FIGURE 13–4 Thermometers built by the Accademia del Cimento (1657–1667) in Florence, Italy, are among the earliest known. These sensitive and exquisite instruments contained alcohol, sometimes colored, like many thermometers today.



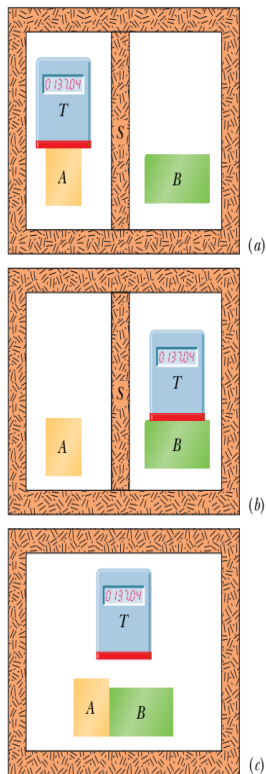




Υπάρχουν διάφορες εκδοχές σχετικά με το πως προέκυψε η κλίμακα. Ως προς το μηδέν (0 °F), ορίστηκε το σημείο παγώματος (πήξη) ενός διαλύματος άρμης, αποτελούμενου από ίσα μέρη πάγου, νερού και αλατιού. Η θερμοκρασία αυτή αντιστοιχούσε στους -32 βαθμούς Κελσίου. Προσδιορίστηκε επίσης το σημείο παγώματος του νερού (32 °F) καθώς και της μέσης θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος (96 °F) περίπου 2,6 °F πιο κάτω από τη σημερινή τιμή, εξαιτίας μεταγενέστερης αναπροσαρμογής της κλίμακας).

ΜΗΔΕΝΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Θερμοσκόπιο

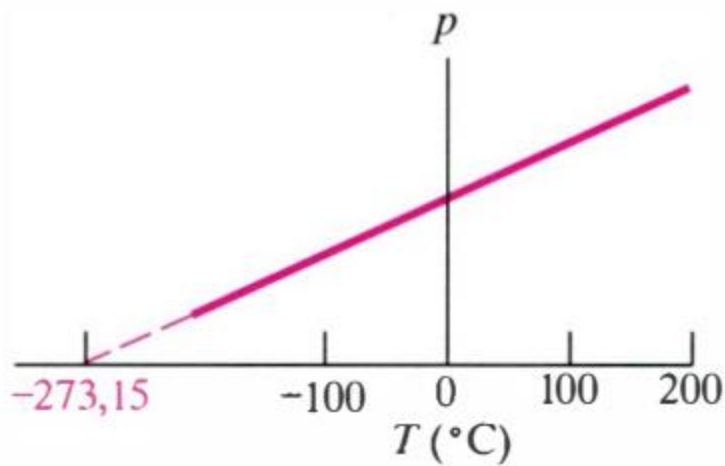


Μηδενικός Νόμος

Όταν δύο σώματα A και B είναι σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο σώμα T, είναι σε θερμική ισορροπία και μεταξύ τους.

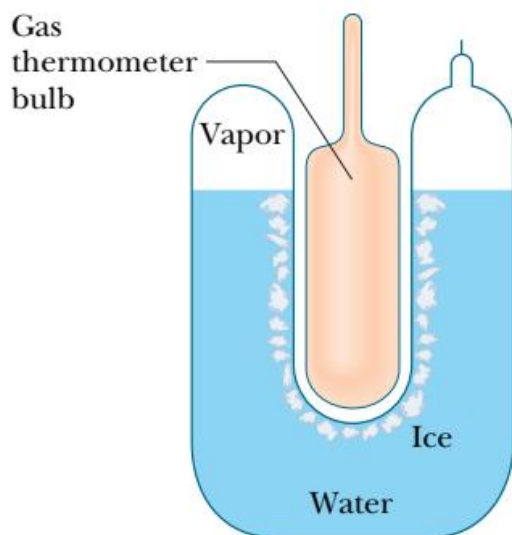
Δύο σώματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, αν και μόνο αν, έχουν την ίδια θερμοκρασία

$$P \sim \frac{1}{C} T \quad (1.1)$$



(Στο όριο πολύ χαμηλής πυκνότητας)

Θερμόμετρο αερίου σταθερού όγκου



Θερμοκρασία τριπλού σημείου του H_2O ($T=0.01^{\circ}\text{C}$, $p=0.006\text{atm}$)

$$T_3 = 273.16 \text{ K} \quad (\text{triple-point temperature}),$$

$$T = (273.16 \text{ K}) \left(\lim_{p_3 \rightarrow 0} \frac{P}{p_3} \right). \quad (1.2)$$

$$T_K = T_C + 273.15. \quad (1.3)$$

$$T_C = T - 273.15^\circ. \quad (1.4)$$

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ, \quad (1.5)$$

$$0^\circ\text{C} = 32^\circ\text{F} \quad (1.6)$$

	K	C	F
Υγροποίηση υδρατμού	373	100°	212°
Υγροποίηση πάγου	273	0°	32°
Στερεό CO ₂	195	-78°	-109°
Υγροποίηση οξυγόνου	90	-183°	-298°
Απόλυτο μηδέν	0	-273°	-460°

ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

Γραμμική διαστολή

$$\Delta L = L\alpha \Delta T,$$

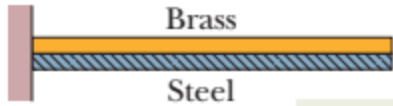
(1.7)

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T.$$

(1.8)

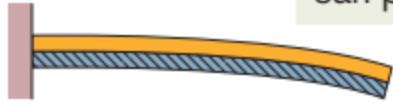
α είναι ο συντελεστής γραμμικής διαστολής σε (K⁻¹)

Διμεταλλικό έλασμα



Brass
Steel
 $T = T_0$
(a)

Different amounts of expansion or contraction can produce bending.



$T > T_0$
(b)

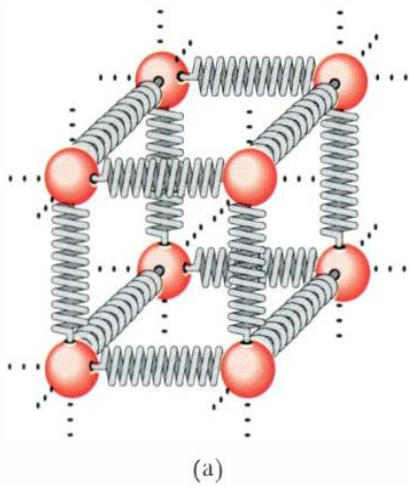


(a)



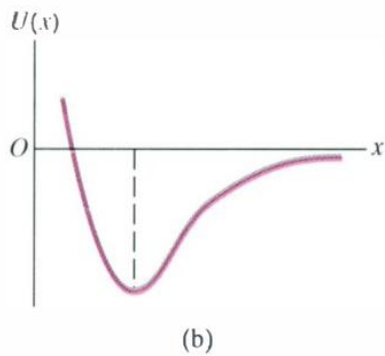
(b)

(Θερμοστάτης – Θερμότητα)



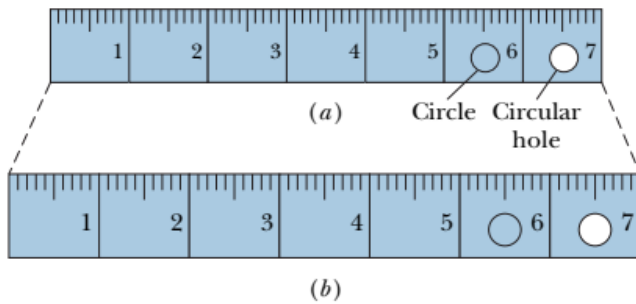
Τα “ελατηρια” ευκολότερα
επιμηκύνονται παρά
συμπιέζονται

Ενεργειακά ευνοείται η διαστολή
παρά η συστολή



15-7 (a) Οι δυνάμεις μεταξύ γειτονικών ατόμων ενός στερεού μπορούν να αποδοθούν από ελατήρια που είναι ευκολότερο να επιμηκυνθούν παρά να συμπιεστούν. (b) Από το διάγραμμα της δυναμικής ενέργειας ως συνάρτησης της απόστασης μεταξύ γειτονικών ατόμων, προκύπτει ότι οι δυνάμεις δεν είναι συμμετρικές.

Διαστολή όγκου



ΠΙΝΑΚΑΣ 15-1 Συντελεστές Γραμμικής Διαστολής

Υλικό	α [K ⁻¹ ή (C°) ⁻¹]
Αργίλιο (αλουμίνιο)	$2,4 \times 10^{-5}$
Ορείχαλκος	$2,0 \times 10^{-5}$
Χαλκός	$1,7 \times 10^{-5}$
Γυαλί	$0,4-0,9 \times 10^{-5}$
Ιπναγ (κράμα νικελίου-σιδήρου)	$0,09 \times 10^{-5}$
Άμορφος χαλαζίας	$0,04 \times 10^{-5}$
Χάλυβας	$1,2 \times 10^{-5}$

$$\Delta V = V\beta \Delta T,$$

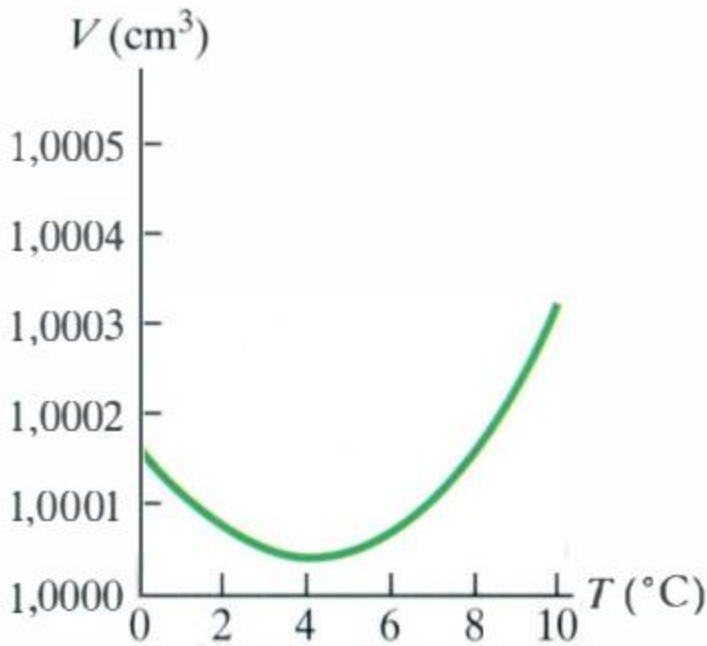
(1.9)

β είναι ο συντελεστής διαστολής όγκου

$$\beta = 3\alpha.$$

(1.10)

Ανώμαλη διαστολή του νερού



Στην περιοχή από $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ως $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, ο όγκος του νερού *ελαττώνεται* καθώς αυξάνει η θερμοκρασία· σε αυτή την περιοχή ο συντελεστής διαστολής όγκου είναι *αρνητικός*. Πάνω από τους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ το νερό διαστέλλεται όταν θερμαίνεται (Σχ. 15–8)· έτσι το νερό έχει τη μεγαλύτερη του πυκνότητα στους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ακόμη, το νερό διαστέλλεται όταν γίνεται πάγος· γι' αυτό τον λόγο τα παγάκια μέσα στην παγοθήκη έχουν κυρτή την πάνω τους επιφάνεια. Τα περισσότερα υλικά συστέλλονται όταν στερεοποιούνται.

Αυτή η ανώμαλη συμπεριφορά του νερού έχει σημαντικές επιπτώσεις στους υδροβιότοπους των λιμνών. Όταν ψύχεται μια λίμνη, το κρύο νερό της επιφάνειας βυθίζεται προς τον πυθμένα λόγω της μεγαλύτερης του πυκνότητας. Όταν όμως η θερμοκρασία φτάσει στους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, η ροή αυτή σταματά οπότε τα επιφανειακά στρώματα νερού είναι ψυχρότερα (με μικρότερη πυκνότητα) σε σχέση με τα στρώματα του πυθμένα. Καθώς το νερό της επιφάνειας στερεοποιείται, ο πάγος επιπλέει γιατί είναι λιγότερο πυκνός από το νερό. Το νερό του πυθμένα παραμένει στους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ώσπου να παγώσει ολόκληρη η λίμνη. Αν το νερό συμπεριφερόταν όπως οι πιο πολλές ουσίες, δηλαδή συστελλόταν συνεχώς με την ψύξη και πήξη, οι λίμνες θα πάγωναν από τον πυθμένα προς την επιφάνεια. Η κυκλοφορία λόγω διαφορών πυκνότητας θα μετέφερε συνεχώς θερμότερο νερό προς την επιφάνεια όπου θα ψυχόταν αποτελεσματικότερα, και οι λίμνες θα πάγωναν πολύ πιο εύκολα. Αυτό θα νέκρωνε όλους τους ζώντες υδρόβιους οργανισμούς (φυτά, ψάρια) που αντέχουν στο κρύο νερό, όχι όμως και στο παγωμένο. Όλες οι γνωστές μορφές ζωής στη γη εξαρτώνται από χημικά συστήματα που βασίζονται σε υδάτινα διαλύματα· αν το νερό δεν διέθετε αυτή την ειδική ιδιότητα, η εξέλιξη των διαφόρων μορφών ζωής θα είχε πάρει τελείως διαφορετική πορεία.

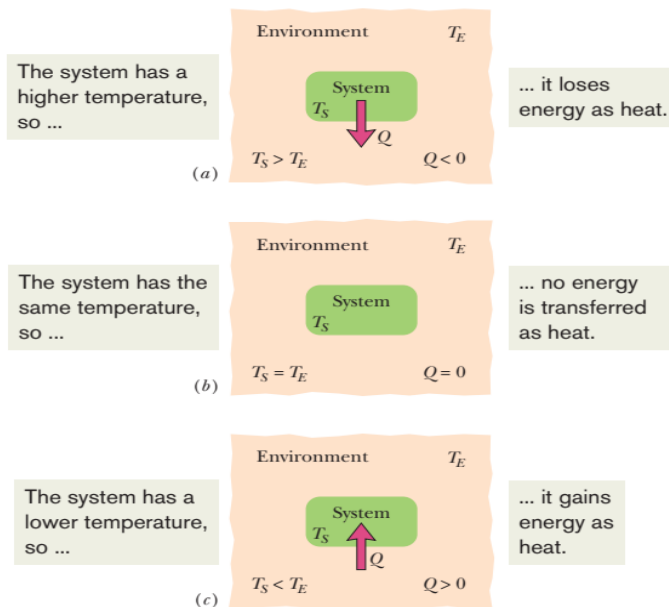
ΠΙΝΑΚΑΣ 15-2 Συντελεστές διαστολής όγκου

Στερεά	$\beta(\text{K}^{-1})$	Υγρά	$\beta(\text{K}^{-1})$
Αργίλιο	$7,2 \times 10^{-5}$	Διθειούχος άνθρακας	115×10^{-5}
Ορείχαλκος	$6,0 \times 10^{-5}$	Αιθανόλη	75×10^{-5}
Χαλκός	$5,1 \times 10^{-5}$	Γλυκερίνη	49×10^{-5}
Γυαλί	$1,2-2,7 \times 10^{-5}$	Υδράργυρος	18×10^{-5}
Invar	$0,27 \times 10^{-5}$		
Άμορφος χαλαζίας	$0,12 \times 10^{-5}$		
Χάλυβας	$3,6 \times 10^{-5}$		

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Σύστημα \rightarrow Καφές ή αναψυκτικό, με T_S

Περιβάλλον \rightarrow Δωμάτιο, Τμήματα Κουζίνας, με T_E

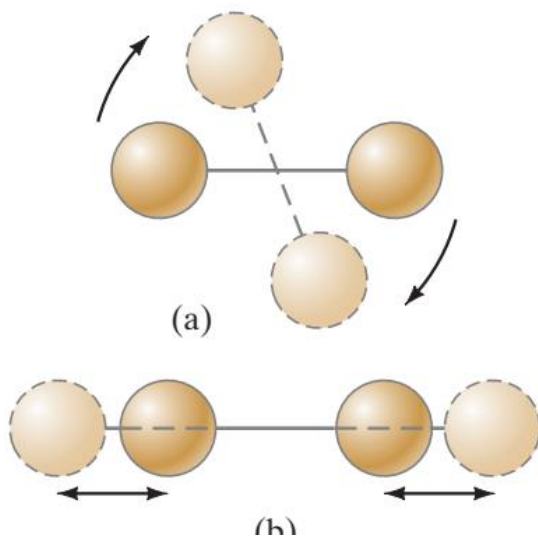


Θερμοκρασία (K) : Είναι το μέτρο της μέσης κινητικής ενέργειας των σωματιδίων που αποτελούν ένα σύστημα (μόρια, άτομα)

Εσωτερική Ενέργεια : Είναι η ολική (Κινητική και δυναμική) ενέργεια των σωματιδίων που αποτελούν ένα σύστημα (μόρια, άτομα) (Δύο κομμάτια πυρακτωμένου σιδήρου έχουν την ίδια θερμοκρασία αλλά διπλάσια εσωτερική ενέργεια σαν σύνολο από ένα κομμάτι)

Θερμότητα : Είναι η μεταφορά ενέργειας από το ένα σώμα στο άλλο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (ή ανάμεσα σε μία περιοχή του σώματος σε μία άλλη περιοχή του ίδιου σώματος)

Θερμική Ενέργεια = εσωτερική ενέργεια που αποτελείται από κινητική και δυναμική ενέργεια από τις τυχαίες κινήσεις ατόμων, μορίων και άλλων μικροσκοπικών σωματιδίων που υπάρχουν μέσα στο σύστημα



Θερμότητα Q είναι η ενέργεια που μεταφέρεται μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντος του εξαιτίας διαφοράς θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ τους

Εσωτερικές ιδιότητες του συστήματος (T, p, V)

Q και W ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΜΟΝΑΔΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ??????????????????????

OLD FASHION!!!

a) Θερμίδα (cal)

Είναι η ποσότητα θερμότητας που μπορεί να αυξήσει την θερμοκρασία 1g νερού από 14.5 °C σε 15.5 °C

British thermal unit (Btu) Είναι η ποσότητα θερμότητας που μπορεί να αυξήσει την θερμοκρασία 1g νερού από 63 °F σε 64 °F

b) Joule

$$1 \text{ cal} = 3.968 \times 10^{-3} \text{ Btu} = 4.1868 \text{ J.}$$

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Θερμοχωρητικότητα ,C (JK⁻¹)

$$Q = C \Delta T = C(T_f - T_i), \quad (1.11)$$

Ειδική θερμότητα ,c

Ειδική θερμότητα είναι η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας

$$c = \frac{C}{m} \quad (1.12)$$

$$Q = cm \Delta T = cm(T_f - T_i).$$

(1.13)

TABLE 14–1 Specific Heats (at 1 atm constant pressure and 20°C unless otherwise stated)		
Substance	Specific Heat, <i>c</i>	
	J/kg · C°	kcal/kg · C° (= cal/g · C°)
Aluminum	900	0.22
Alcohol (ethyl)	2400	0.58
Copper	390	0.093
Glass	840	0.20
Iron or steel	450	0.11
Lead	130	0.031
Marble	860	0.21
Mercury	140	0.033
Silver	230	0.056
Wood	1700	0.4
Water		
Ice (–5°C)	2100	0.50
Liquid (15°C)	4186	1.00
Steam (110°C)	2010	0.48
Human body (average)	3470	0.83
Protein	1700	0.4

Γραμμομοριακή ειδική θερμότητα ,*c*

Όταν η ποσότητα αντί για *m* εκφράζεται σε mol.

Λανθάνουσες θερμότητες μετροπής, L

Αλλαγή Φάσης

Στερεή-→Υγρή (Τήξη) → Προσφορά ενέργειας $Q>0$

Υγρή-→Στερεή (Πήξη) → Απομάκρυνση ενέργειας $Q<0$

$$Q = Lm.$$

(1.14)

$L=L_F$ (Λανθάνουσα θερμότητα τήξης)

Υγρή-→Αέρια (Εξαέρωση) → Προσφορά ενέργειας $Q>0$

Αέρια-→Υγρή (Συμπύκνωση) → Απομάκρυνση ενέργειας
 $Q<0$

$L=L_V$ (Λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης) (1.15)

Table 18-4

Some Heats of Transformation

Substance	Melting		Boiling	
	Melting Point (K)	Heat of Fusion L_F (kJ/kg)	Boiling Point (K)	Heat of Vaporization L_V (kJ/kg)
Hydrogen	14.0	58.0	20.3	455
Oxygen	54.8	13.9	90.2	213
Mercury	234	11.4	630	296
Water	273	333	373	2256
Lead	601	23.2	2017	858
Silver	1235	105	2323	2336
Copper	1356	207	2868	4730

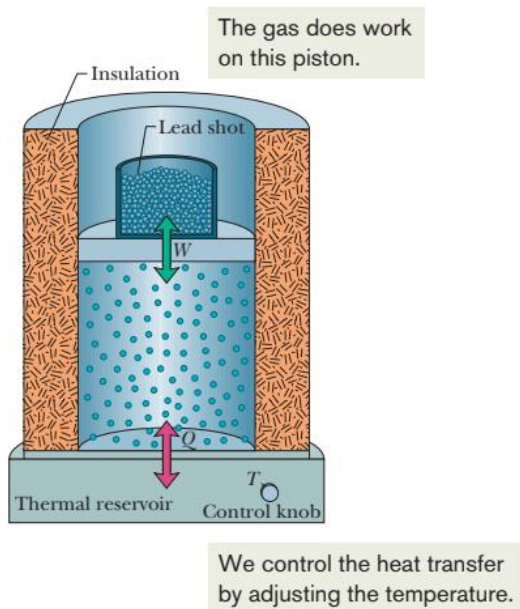
ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΕΝ ΑΝΤΑΛΛΑΣΕΙ ΜΑΖΑ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΑΡΑ ΜΟΝΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.

ΑΠΟΜΩΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΥ ΔΕΝ ΑΝΤΑΛΛΑΣΕΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΑΝΟΙΧΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΥ ΑΝΤΑΛΛΑΣΕΙ ΜΑΖΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

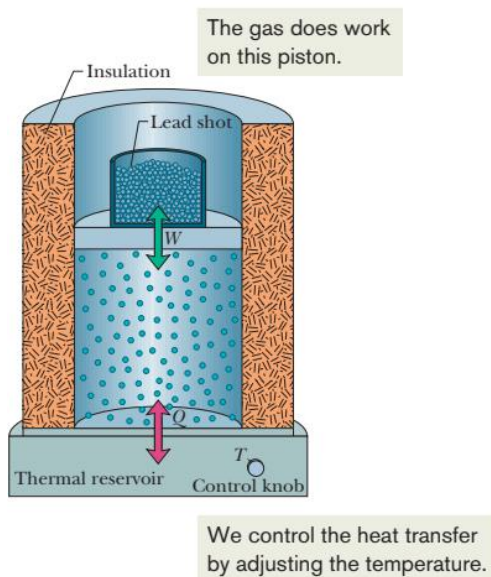
ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΑΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΡΓΟ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ p-V



- Σύστημα=Αέριο
- Αρχική κατάσταση = (p_i, V_i, T_i)
- Τελική κατάσταση κατάσταση = (p_f, V_f, T_f)
- Αρχική Κατάσταση-> Τελική κατάσταση = Θερμοδυναμική Διαδικασία
- $Q>0$, Μεταφορά θερμότητας από την δεξαμενή στο σύστημα
- $Q<0$, Μεταφορά θερμότητας από το σύστημα στην δεξαμενή
- **$W>0$** , το έργο που παράγει το σύστημα (αέριο) (ανυψώνει το πιστόνι – εκτόνωση)

- $W > 0$, το έργο που παράγει το σύστημα (αέριο) (ανυψώνει το πιστόνι – εκτόνωση)
- $W < 0$, το έργο που εκτελείται στο σύστημα (αέριο) από το πιστόνι (ανυψώνει το πιστόνι – συμπίεση)
- Το σύστημα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία σε όλη την διάρκεια της διαδικασίας (πολύ αργές μεταβολές)



A) αφαιρούμε σφαιρίδια

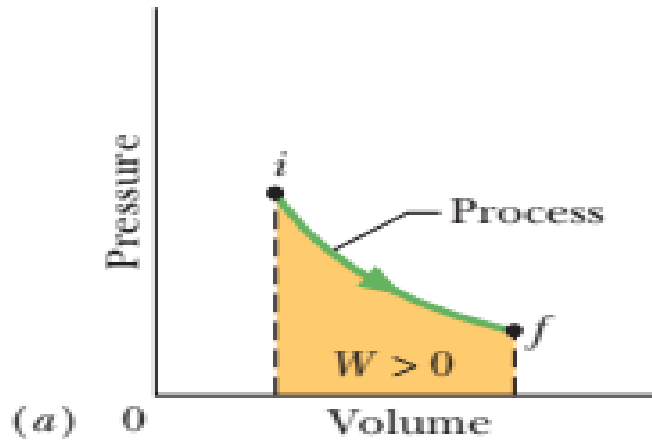
$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = (pA)(ds) = p(A ds) = p dV,$$

$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} p dV.$$

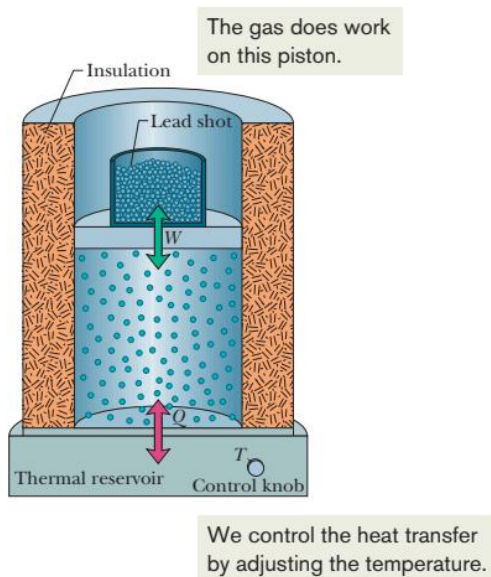
(1.16)

Τρόποι μετάβασης από την αρχική στην τελική κατάσταση

Gas moves from i to f ,
doing positive work.

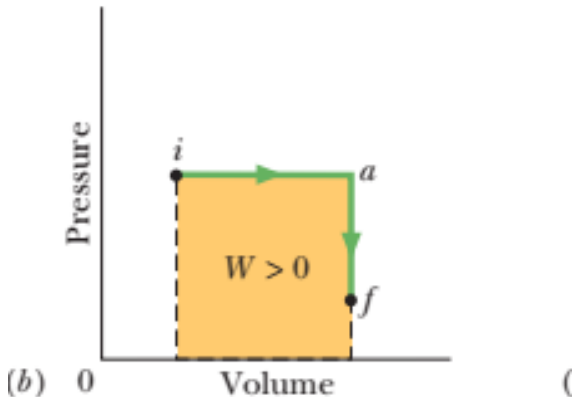


Αυξάνεται η πίεση ελαττώνεται ο όγκος (Τοποθετώ σφαιρίδια). Ελαττώνεται η πίεση αυξάνεται ο όγκος (Αφαιρώ σφαιρίδια)



b) $p = \text{const}$ ($i \rightarrow a$), Αυξάνοντας την $T, Q > 0$

It still goes from i to f ,
but now it does *more*
work.



(i- \rightarrow a) Σταθερή πίεση (δεν πειράζουμε τα σφαιρίδια)

Ο όγκος αυξάνει αν αυξήσουμε την θερμοκρασία

Η αύξηση του όγκου σπρώχνει το πιστόνι προς τα πάνω άρα το αέριο παράγει θετικό έργο στο περιβάλλον $W > 0$ και $Q > 0$ επειδή έχουμε μεταφορά θερμότητας από την δεξαμενή στο σύστημα (αέριο)

(a- \rightarrow f), Σταθερός όγκος (Ακινητοποιούμε το πιστόνι)
Ελαττώνοντας την T , ελαττώνουμε την $p, Q < 0$

Έργο παράγεται μόνο κατά το βήμα $i \rightarrow a$, (γιατί?)

c) Η προηγούμενη διαδικασία με αντίστροφα

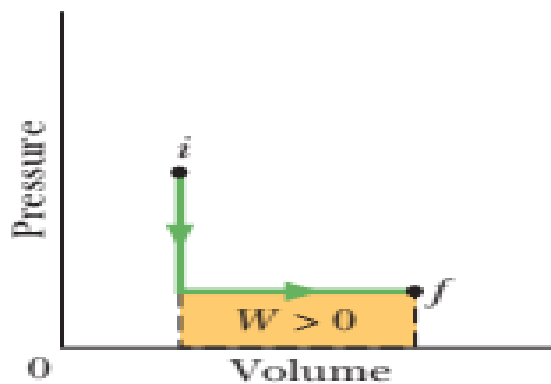
(i- \rightarrow a), Σταθερός όγκος (Ακινητοποιούμε το πιστόνι)
Ελαττώνοντας την T , ελαττώνουμε την $p, Q < 0$

(a→f) Σταθερή πίεση (δεν πειράζουμε τα σφαιρίδια)

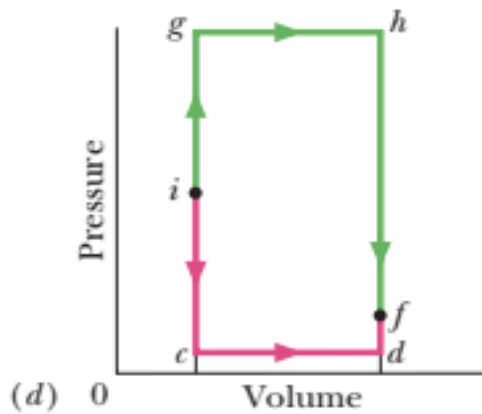
Ο όγκος αυξάνει αν αυξήσουμε την θερμοκρασία

Η αύξηση του όγκου σπρώχνει το πιστόνι προς τα πάνω άρα το αέριο παράγει θετικό έργο στο περιβάλλον $W > 0$ και $Q > 0$ επειδή έχουμε μεταφορά θερμότητας από την δεξαμενή στο σύστημα (αέριο)

It still goes from i to f ,
but now it does *less*
work.

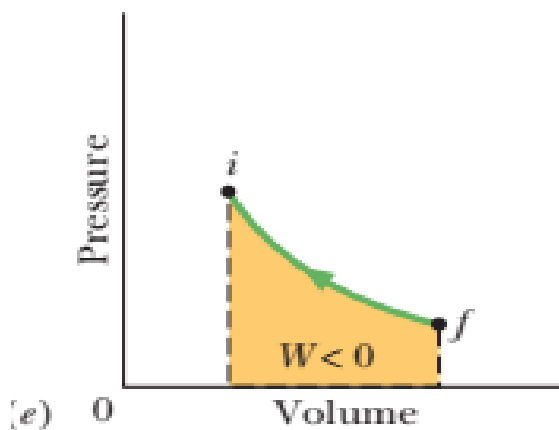


We can control how much work it does.



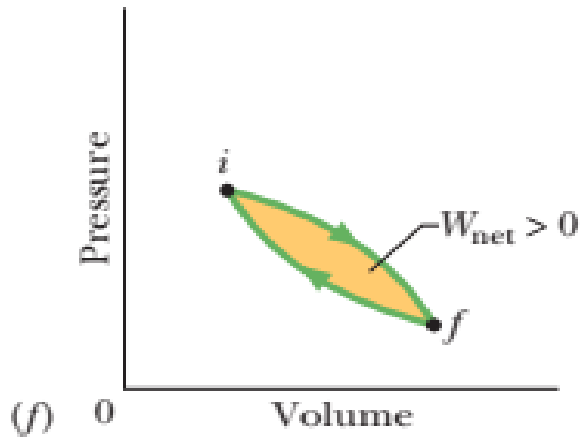
- i) Ένα σύστημα μπορεί να πάει από μία δεδομένη κατάσταση σε μία τελική κατάσταση με ένα άπειρο πλήθος διαδικασιών
- ii) Η θερμότητα και το έργο είναι μεγέθη που εξαρτώνται από την διαδρομή

Moving from f to i , it does negative work.



Θερμοδυναμικός κύκλος

Cycling clockwise yields a positive net work.



1^{ος} ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΗ

Η ποσότητα $Q-W$

Εξαρτάται μόνο από την τελική και αρχική κατάσταση και όχι από τον τρόπο μετάβασης από την αρχική στην τελική κατάσταση. Όλοι οι άλλοι συνδυασμοί Q με W εξαρτώνται από τον τρόπο μετάβασης (π.χ Q , W , $Q-2W$)

$$\Delta E_{\text{int}} = E_{\text{int},f} - E_{\text{int},i} = Q - W \quad (\text{first law}).$$

$$\Delta U = Q - W$$

(1.17)

Συνεπώς η Εσωτερική ενέργεια εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση του συστήματος

(Επέκταση της ΑΔΕ σε μη απομονωμένα συστήματα)

E_{int} , ή U είναι η εσωτερική ενέργεια του συστήματος (εσωτερική ιδιότητα του συστήματος)

W είναι το έργο που παράγει το σύστημα στο περιβάλλον και είναι $W > 0$

$$dE_{int} = dQ - dW \quad (\text{first law}).$$

(1.18)

dE_{int} είναι πραγματικό διαφορικό

dQ και dW είναι ψευδοδιαφορικά, ή μη τέλεια διαφορικά

$$dE_{int} = \delta Q - \delta W$$

dx σημαίνει απειροστή μεταβολή σε μία μεγάλη ποσότητα x , (dT στο μέγεθος T) $dx > 0$ ή $dx < 0$

δx σημαίνει απειροστό μέγεθος (πολύ μικρό έργο δW) Το δx δεν έχει πρόσημο.

(Η E_{int} , αυξάνει αν η ενέργεια προστίθεται σαν θερμότητα και μειώνεται αν το σύστημα παράγει έργο)

Μπορούμε να γράψουμε

$$dQ = dE_{int} + dW \quad (1.19)$$

δηλαδή όταν προσφέρουμε σε ένα σύστημα ποσό θερμότητας dQ ένα μέρος της παραμένει στο

σύστημα αύξάνοντας την dE_{int} και το υπόλοιπο εγκαταλείπει το σύστημα ξανά καθώς το σύστημα παράγει έργο dW προς το περιβάλλον.

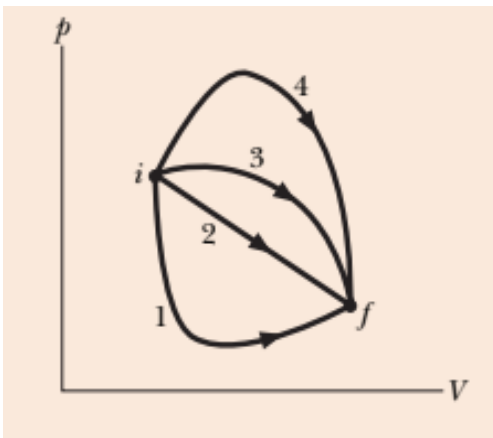
Πρώτος νόμος με προσφορά έργου $-W_{on}$ στο σύστημα

$$dE_{int}=dQ-(-W_{on})=dQ+W_{on} \quad (1.20)$$

Να κατατάξετε τις διαδρομές σύμφωνα με

i) ΔE_{int} ii) Το έργο που παράγεται από το αέριο

iii) την ποσότητα Q ανάμεσα στο αέριο και το περιβάλλον



i)

i) 4-3-2-1

ii) 4-3-2-1

$$dE_{int} = \delta Q - \delta W \rightarrow \delta Q = dE_{int} + \delta W$$

Σε μία κυκλική μεταβολή

$$E_i = E_f \rightarrow \Delta E_{\text{int}} = 0 \rightarrow Q = W \quad (1.21)$$

Όταν το σύστημα είναι απομονωμένο

$$\text{Τότε } Q = W \rightarrow \Delta E_{\text{int}} = 0. \quad (1.22)$$

Η εσωτερική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος είναι μηδέν

$W = \Delta E = 0$ (Αρχή διατήρησης της ενέργειας σε απομονωμένο σύστημα).

ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ 1^{ου} ΝΟΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

1. ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ

(αδιαβατικό= στερητικό α και διαβαίνω)

Χαρακτηριστικό ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΥΠΟ ΜΟΡΦΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ

$$Q = 0,$$

Πότε γίνεται αυτό?

$\Delta t \rightarrow 0$, ή το σύστημα είναι “τέλεια θερμικά μονωμένο”

$$\Delta E_{\text{int}} = E_{\text{int},f} - E_{\text{int},i} = Q - W \quad (\text{first law}).$$

(1.23)

$$\Delta E_{\text{int}} = -W \quad (\text{adiabatic process}).$$

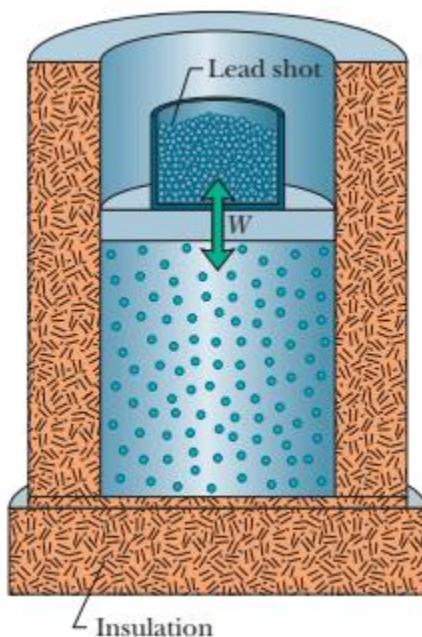
(1.24)

Αν $W > 0$ (Το σύστημα παράγει ενέργεια στο περιβάλλον)

$$\Delta E_{\text{int}} < 0$$

Αν $W < 0$ (Το περιβάλλον προσφέρει ενέργεια στο σύστημα)

$$\Delta E_{\text{int}} > 0$$



Εκτόνωση $W>0$, $\Delta E_{int}<0$

Συμπύεση $W<0$, $\Delta E_{int}>0$

2.ΙΣΟΧΩΡΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ

(ίσος χώρος=ίσος όγκος)

Χαρακτηριστικό ΔΕΝ ΠΑΡΑΓΕΙ ΕΡΓΟ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, $dV=0, W=0$.

$$\Delta E_{int} = Q \quad (\text{constant-volume process}).$$

(1.25)

Απορρόφηση θερμότητας $Q>0$, $\Delta E_{int}>0$

Αποβολή θερμότητας $Q<0$, $\Delta E_{int}<0$

3.ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

(αρχική κατάσταση=τελική κατάσταση)

Χαρακτηριστικό ΔΕΝ ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ Η ΔE_{int} , $\Delta E_{int}=0$

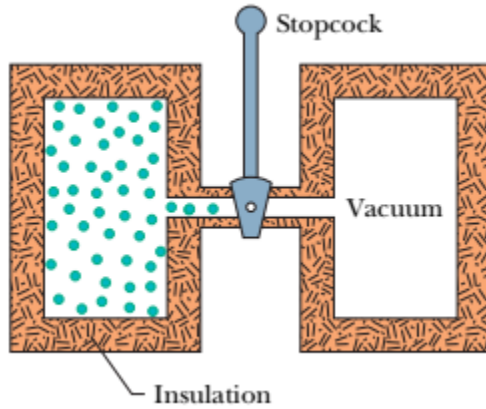
$$Q = W \quad (\text{cyclical process}).$$

(1.26)

4. ΕΛΕΥΘΕΡΕΣ ΕΚΤΟΝΩΣΕΙΣ

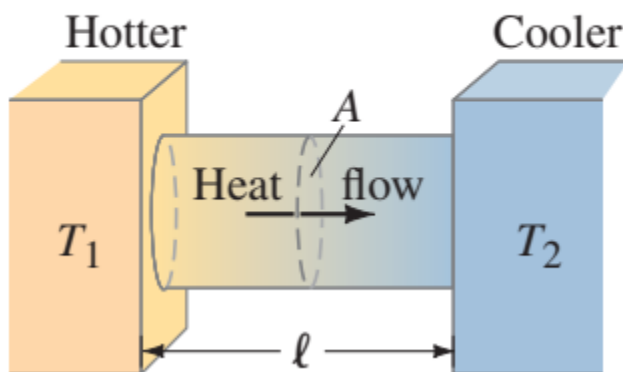
Χαρακτηριστικό $Q=W=0$

$\Delta E_{\text{int}}=0$

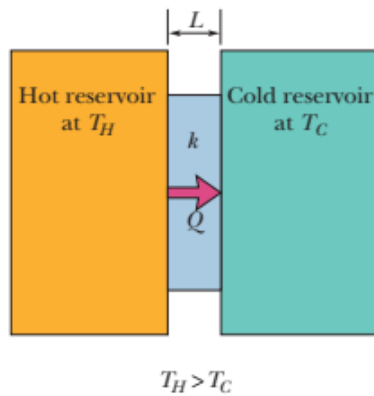


ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

a) ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΗ



We assume a steady transfer of energy as heat.



$$\frac{Q}{t} = kA \frac{T_1 - T_2}{\ell}$$

(1.27)

Μεταφορά κινητικής ενέργειας μέσω των κρούσεων των μορίων

P_{cond} είναι ο ρυθμός αγωγής της θερμότητας

k είναι η θερμική αγωγιμότητα

A είναι η επιφάνεια

(Ψύκτρες)

TABLE 14–4
Thermal Conductivities

Substance	Thermal Conductivity, k	
	J ($\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{C}^\circ$)	kcal ($\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{C}^\circ$)
Silver	420	10×10^{-2}
Copper	380	9.2×10^{-2}
Aluminum	200	5.0×10^{-2}
Steel	40	1.1×10^{-2}
Ice	2	5×10^{-4}
Glass	0.84	2.0×10^{-4}
Brick	0.84	2.0×10^{-4}
Concrete	0.84	2.0×10^{-4}
Water	0.56	1.4×10^{-4}
Human tissue	0.2	0.5×10^{-4}
Wood	0.1	0.3×10^{-4}
Fiberglass	0.048	0.12×10^{-4}
Cork	0.042	0.10×10^{-4}
Wool	0.040	0.10×10^{-4}
Goose down	0.025	0.060×10^{-4}
Polyurethane	0.024	0.057×10^{-4}
Air	0.023	0.055×10^{-4}

(1.28)

$$R = \frac{\ell}{k}$$

R είναι η θερμική αντίσταση

TABLE 14-5 <i>R</i> -values		
Material	Thickness	<i>R</i> -value (ft ² ·h·F°/Btu)
Glass	$\frac{1}{8}$ inch	1
Brick	$3\frac{1}{2}$ inches	0.6–1
Plywood	$\frac{1}{2}$ inch	0.6
Fiberglass insulation	4 inches	12

b) ΣΥΝΑΓΩΓΗ (ΔΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ)

Μετακίνηση μεγάλου αριθμού μορίων (μαζών) σε μεγάλη απόσταση

Συμβαίνει όταν ένα ρευστό έρχεται σε επαφή με ένα αντικείμενο σε υψηλότερη θερμοκρασία από ότι το ρευστό

Υψηλή θερμοκρασία → Διαστολή → αύξηση όγκου → μείωση πυκνότητας → Δυνάμεις άνωσης ωθούν προς τα πάνω το θερμό τμήμα του ρευστού.

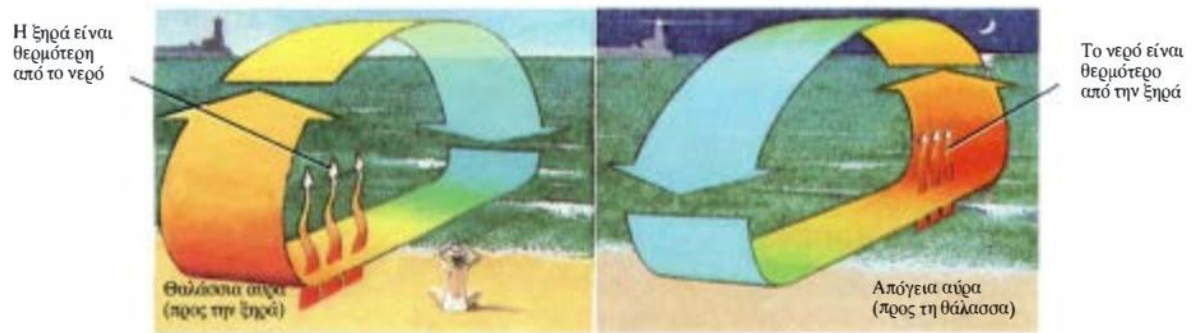
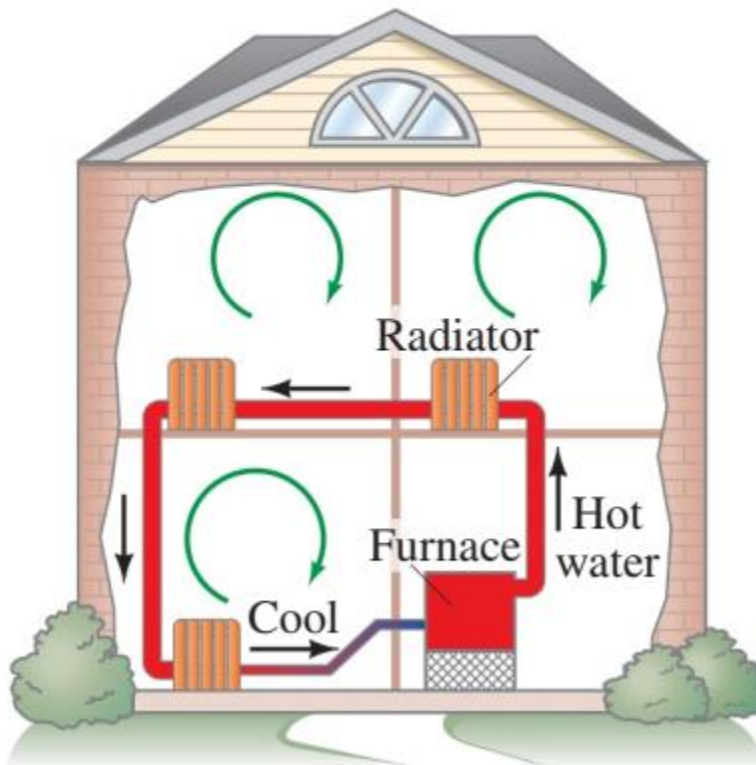


FIGURE 14–9 Convection plays a role in heating a house. The circular arrows show convective air currents in the rooms.



c) ΔΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Θερμική ακτινοβολία

(ακτινοβολώ =εκπέμπω)

Νόμος Stefan – Boltzman

Εκπομπή

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma AT^4.$$

$$P_{\text{rad}} = \sigma \epsilon AT^4.$$

(1.29)

P_{rad} , είναι ο ρυθμός εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας

A, εμβαδόν επιφάνειας

T, θερμοκρασια σε K,

$\sigma=5.6704 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^4$, σταθερά Stefan Boltzman

ϵ , η αφετική ικανότητα της επιφάνειας με τιμές από 0 έως 1,

για $\epsilon=1$, έχουμε το μέλαν σώμα (ιδανική κατάσταση)

ΟΛΑ ΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΚΠΕΜΠΟΥΝ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



Fig. 18-26 A false-color thermogram of a

Απορρόφηση

$$P_{\text{abs}} = \sigma \epsilon A T_{\text{env}}^4$$

(1.30)

P_{rad} , είναι ο ρυθμός απορρόφησης θερμικής ακτινοβολίας

A , εμβαδόν επιφάνειας

T_{env} , θερμοκρασία περιβάλλοντος σε K,

$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^4$,

ϵ , η αφετική ικανότητα της επιφάνειας με τιμές από 0 έως 1,

για $\epsilon = 1$, έχουμε το μέλαν σώμα (ιδανική κατάσταση)

(απορροφά όλη την ακτινοβολία που δέχεται)

$$P_{\text{net}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{rad}} = \sigma \epsilon A (T_{\text{env}}^4 - T^4).$$

(1.31)



Fig. 18-21 A rattlesnake's face has thermal radiation detectors, allowing the snake to strike at an animal even in complete darkness. (*David A. Northcott/Corbis Images*)

2 .ΕΝΤΡΟΠΙΑ -2^{ος} ΝΟΜΟΣ

- ΜΟΝΟΔΡΟΜΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ
- ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΕΣ
- ΒΕΛΟΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

ΟΙ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΝΟΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΖΗΤΗΜΑ

Οι ενεργειακές μεταβολές σε ένα κλειστό σύστημα δεν καθορίζουν τις μη αντιστρεπτές διαδικασίες

Η μεταβολή της Εντροπίας καθορίζει τις μη αντιστρεπτές διαδικασίες

ΝΕΟ ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ,ΕΝΤΡΟΠΙΑ S

(Αποτελεί ένα μέτρο του αριθμού των διαφορετικών τρόπων μέσω των οποίων ένα σύστημα μπορεί να βρεθεί σε μία δεδομένη κατάσταση)

ΔΥΟ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

A) ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ

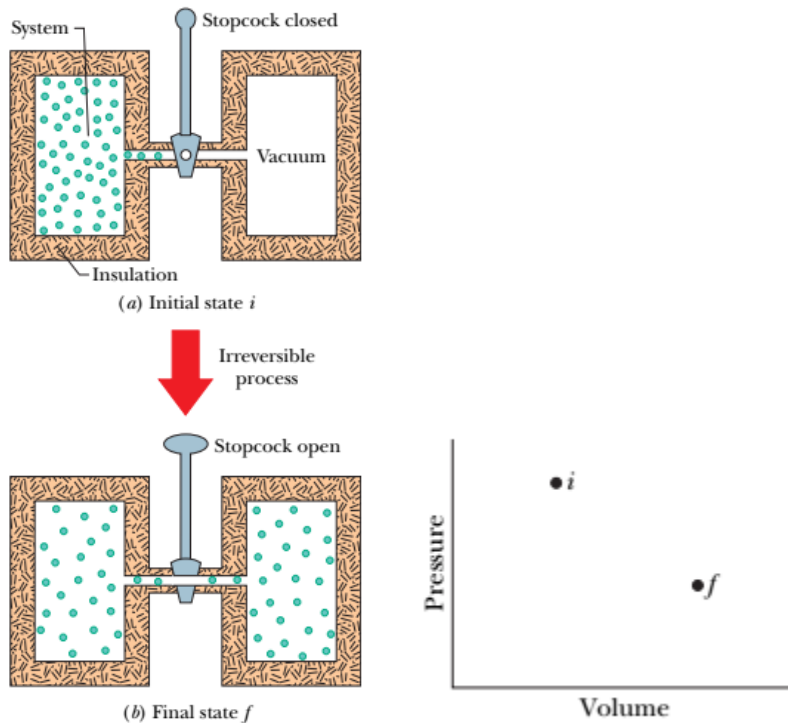
Με βάση την T και την dQ

Β) ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ

Με βάση την απαρίθμηση των τρόπων διάταξης των ατόμων ή μορίων που απαρτίζουν το σύστημα

ΑΞΙΩΜΑ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ : ΑΝ ΜΙΑ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΜΕΣΑ ΣΕ ΕΝΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Η ΕΝΤΡΟΠΙΑ S ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ ΠΑΝΤΑ, ΠΟΤΕ ΔΕΝ ΜΕΙΩΝΕΤΑΙ

Η Εντροπία δεν ακολουθεί κανένα νόμο διατήρησης



ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ (p, V, T, E_{int}, S)

Εξαρτώνται μόνο από την κατάσταση (αρχική-τελική) του συστήματος (αέριο) και όχι από τον τρόπο με τον οποίο οδηγήθηκε σε αυτή την κατάσταση.

Ορίζουμε σαν μεταβολή της εντροπίας ΔS ,

$$\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T} \quad (\text{change in entropy defined}).$$

(2.1)

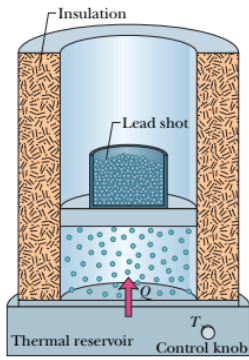
Για να βρούμε την ΔS σε μία **μη αντιστρεπτή** διαδικασία που συμβαίνει μέσα σε ένα απομονωμένο σύστημα, αντικαθιστούμε αυτή την διαδικασία με οποιαδήποτε **αντιστρεπτή** διαδικασία που συνδέει την ίδια αρχική και τελική κατάσταση

Σε μία ελεύθερη εκτόνωση, $\Delta E_{\text{int}}=0$, οπότε $T_i=T_f$,

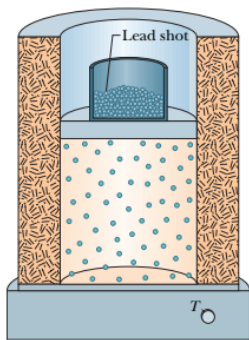
Επομένως τα σημεία i, f θα βρίσκονται πάνω στην ίδια ισόθερμη καμπύλη.

Επομένως η ελεύθερη εκτόνωση αντικαθίσταται από μία αντιστρεπτή ισόθερμη διαδικασία.

Οι δύο διαδικασίες πρέπει να εμφανίζουν την ίδια ΔS



(a) Initial state i

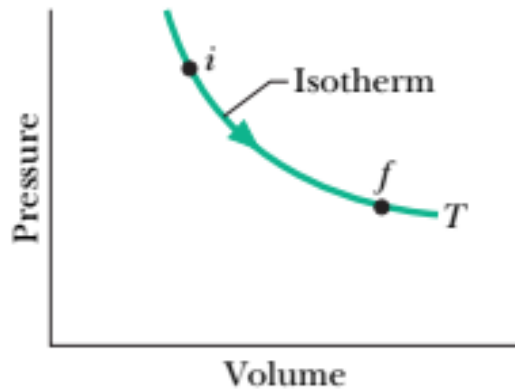


(b) Final state f

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{1}{T} \int_i^f dQ. \quad (2.2)$$

$$\Delta Q = Q_f - Q_i = Q$$

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{Q}{T} \quad (\text{change in entropy, isothermal process}). \quad (2.3)$$



Επειδή $T = \text{σταθερή}$, πρέπει να μεταφέρεται θερμότητα από την δεξαμενή στο αέριο, άρα $Q > 0$ και $\Delta S > 0$

Στην πράξη

Όταν $\Delta T \ll T$

ισχύει

$$\Delta S = S_f - S_i \approx \frac{Q}{T_{\text{avg}}}, \quad (2.4)$$

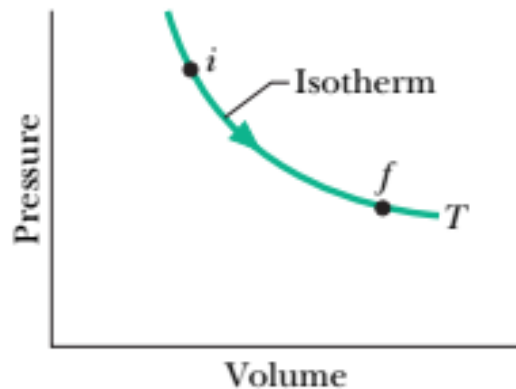
2^{ος} Νόμος της Θερμοδυναμικής

ΑΞΙΩΜΑ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ : ΑΝ ΜΙΑ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΜΒΑΙΝΕΙ ΜΕΣΑ ΣΕ ΕΝΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ Η ΕΝΤΡΟΠΙΑ S ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ ΠΑΝΤΑ ΠΟΤΕ ΔΕΝ ΜΕΙΩΝΕΤΑΙ

ΤΙ ΔΕΝ ΠΑΕΙ ΚΑΛΑ????????????????????????????

Αφού αντικαταστήσαμε την μη αντιστρεπτή διαδικασία με μία αντιστρεπτή συνδέει την ίδια αρχική και τελική κατάσταση

Τότε προσθέτοντάς σφαιρίδια μέχρι να επαναφέρουμε τον αρχικό όγκο αυξάνεται τότε η θερμοκρασία και για να την διατηρήσουμε σταθερή πρέπει να αφαιρέσουμε θερμότητα από το αέριο πηγαίνοντας από την κατάσταση f στην κατάσταση i
 $Q < 0$ άρα $\Delta S < 0$



ΤΟ ΑΕΡΙΟ ΜΟΝΟ ΤΟΥ ΕΙΝΑΙ ΑΝΟΙΧΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΗ

ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΙΚΑΝΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΚΑΙ ΟΙ 2
ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

1. ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2. ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟ

ΟΜΩΣ

ΑΕΡΙΟ+ΔΕΞΑΜΕΝΗ

ΕΙΝΑΙ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ Η
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΙΝΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΗ

$$\Delta S_{\text{gas}} = -\frac{|Q|}{T} \quad (2.5)$$

(Καθώς προσθέτουμε σφαιρίδια το αέριο συμπιέζεται αυξάνεται η θερμοκρασία του οπότε πρέπει μέσω της δεξαμενής να αφαιρείται θερμότητα από το αέριο για να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του)

Επίσης

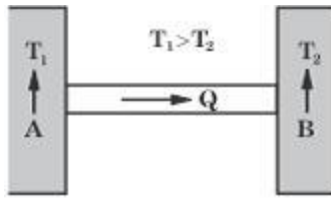
$$\Delta S_{\text{res}} = +\frac{|Q|}{T}. \quad (2.6)$$

$$\Delta S = \Delta S_{\text{gas}} + \Delta S_{\text{res}} = 0 \quad (2.7)$$

$$\Delta S \geq 0 \quad (\text{second law of thermodynamics}),$$

(2.8)

Έστω ότι έχουμε ροή θερμότητας από ένα θερμό σώμα θερμοκρασίας T_1 σε ένα ψυχρό σώμα θερμοκρασίας T_2 δια μέσου μιας ράβδου από χαλκό.



$$\Delta S_1 = \frac{-Q}{T_1}$$

$$\Delta S_2 = \frac{Q}{T_2}$$

Η Εντροπία της ράβδου από χαλκό δεν μεταβάλλεται, διότι από κάθε σημείο αυτής, όση θερμότητα έρχεται από το θερμό σώμα, τόση φεύγει

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{-Q}{T_1} + \frac{Q}{T_2} = Q \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) > 0$$

ΑΞΙΩΜΑ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ : ΑΝ ΜΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΜΒΕΙ ΜΕΣΑ ΣΕ ΕΝΑ ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, Η ΕΝΤΡΟΠΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΞΑΝΕΤΑΙ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΗ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΝΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΕΣ

Ο Γερμανός φυσικός Herman Von Helmholtz ήταν ο πρώτος που δήλωσε το 1854 ότι «Το Σύμπαν τρέχει προς τον θάνατό του». Θα επέλθει με άλλα λόγια ο «θερμικός θάνατος του Σύμπαντος». Γιατί θα συμβεί αυτό; Διότι η Εντροπία ποτέ δεν μπορεί να μειωθεί. Πάντοτε αυξάνεται. Έτσι, όσο μεγαλύτερη γίνεται η εντροπία, τόσο θα μειώνεται η δυνατότητα ενός συστήματος να παρά-

γει ωφέλιμο έργο. Η θερμότητα και η ενέργεια θα υποβαθμίζονται. Δεν θα μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν σαν πηγή ενέργειας.

Επίσης, όσο μεγαλύτερη γίνεται η Εντροπία, τόσο θα αυξάνεται η αταξία των ατόμων ή των μορίων στο Σύμπαν, θα εξαλείφονται οι λεπτομέρειες οργάνωσης και τελικά θα επικρατήσει πλήρης αταξία. Το Σύμπαν θα βυθίζεται σε ένα παγερό και μαύρο σκοτάδι όπου η ζωή δεν θα μπορεί να συντηρηθεί και ο «θερμικός θάνατος του Σύμπαντος» θα επέλθει, όταν το ενεργειακό απόθεμα του τελειώσει

Ο Ίλια Πριγκοζίν διατύπωσε την θεωρία ότι η αύξηση της Εντροπίας και της αταξίας συμβαίνει στα συστήματα που ευρίσκονται σε ισορροπία. Σε συστήματα όμως μακράν της ισορροπίας και σε εξαιρετικές περιπτώσεις, παρόλο που αυξάνεται η Εντροπία, δεν προκύπτει πάντοτε αταξία, αλλά τάξη και οργάνωση και μεγαλύτερη πολυπλοκότητα. Με αυτό τον τρόπο, η ύλη αποκτά νέες ιδιότητες. Έτσι είναι δυνατή η δημιουργία νέων μορφών οργάνωσης, νέων πολύπλοκων δομών, καθώς και νέων βιολογικών δομών.



2^{ος} Δύναμη που οφείλεται στη Εντροπία

$$dE_{\text{int}} = dQ - dW \quad (2.9)$$

$$\text{τότε } dW = dQ - dE_{\text{int}}$$

για μικρή επέκταση, $dE_{\text{int}} = 0$, οπότε

$$dW = dQ$$

$$\text{Όμως } dS = \frac{dQ}{T} \rightarrow dQ = TdS$$

$$dW = TdS$$

όμως επειδή μειώνεται η εντροπία $dS < 0$

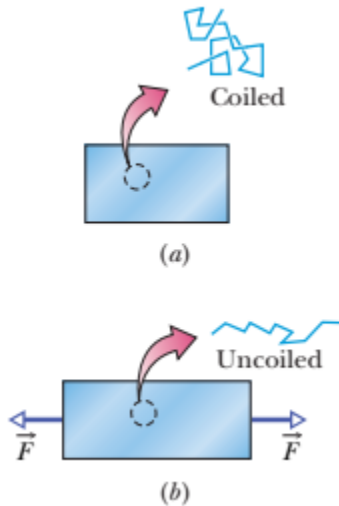
άρα πρέπει

$$dW < 0$$

και

Η δύναμη του ελατηρίου πρέπει είναι δύναμη επαναφοράς,

$$F = -kx$$



3 .ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Q----->

ΟΥΣΙΑ

ΕΡΓΟ

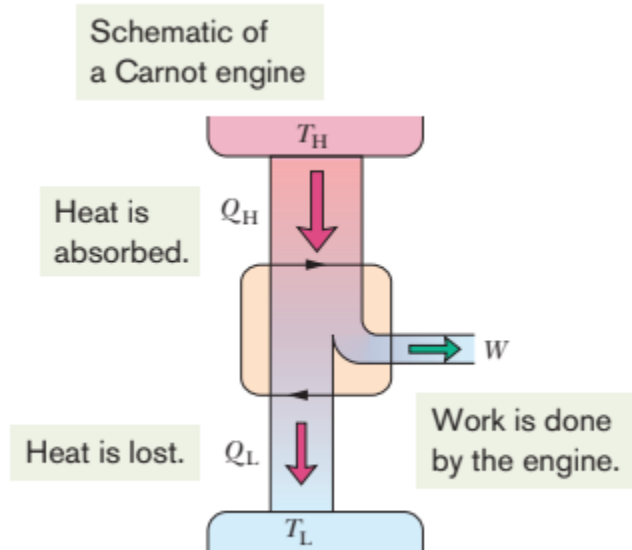
ΝΕΡΟ (ΥΓΡΟ ΑΤΜΟΣ)

ΜΙΓΜΑ BENZINΗΣ- ΑΕΡΑ

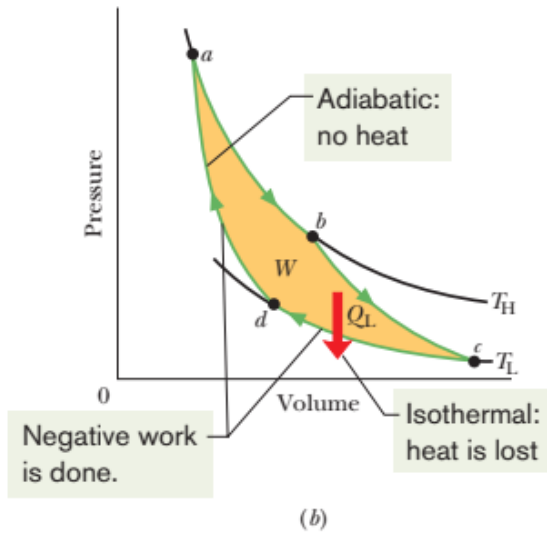
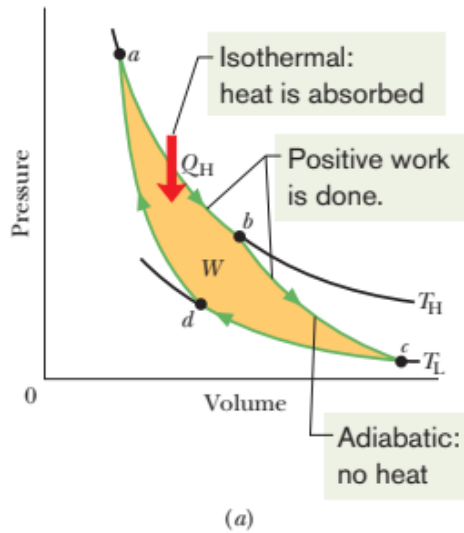
Αν μια μηχανή παράγει έργο σε μόνιμη βάση, η ουσία πρέπει να λειτουργεί σε κύκλο (Σειρά κλειστών θερμοδυναμικών διαδικασιών που ονομάζονται χρόνοι)

Μηχανή Carnot

Σε μια ιδανική μηχανή, όλες οι διαδικασίες είναι αντιστρεπτές και δεν συμβαίνει άχρηστη μεταφορά ενέργειας που οφείλεται σε τριβή και περιδίνηση



Stages of a Carnot engine



Μεταφορές θερμότητας γίνονται μόνο κατά την διάρκεια ισόθερμων μεταβολών ab και cd

Οι διαδικασίες bc και da πρέπει να είναι αδιαβατικές ($Q=0$) (Μόνωση).

$$W = W_{abc} - W_{cda} > 0$$

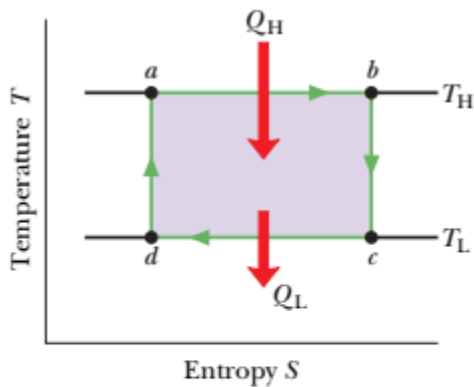


Fig. 20-10 The Carnot cycle of Fig. 20-9 plotted on a temperature–entropy diagram. During processes ab and cd the temperature remains constant. During processes bc and da the entropy remains constant.

Έργο σε μηχανή Carnot

Για ένα πλήρη κύκλο ,

$$\Delta E_{\text{int}}=0$$

Από τον 1 θερμοδυναμικό νόμο

$$0=Q-W,$$

$$\text{Όπου } Q=Q_H-Q_L$$

$$W=Q_H-Q_L$$

Μεταβολή Εντροπίας σε μηχανή Carnot

$$\Delta S = \Delta S_H + \Delta S_L = \frac{|Q_H|}{T_H} - \frac{|Q_L|}{T_L}. \quad (3.1)$$

Επειδή η S είναι καταστατικό μέγεθος για ένα πλήρη κύκλο

$$\Delta S=0$$

$$\frac{|Q_H|}{T_H} = \frac{|Q_L|}{T_L}. \quad (3.2)$$

Επειδή $T_H > T_L$,

$$|Q_H| > |Q_L|$$

Προφανώς αφαιρείται περισσότερη θερμότητα από την δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας από όσο προστίθεται στην δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας

Απόδοση ϵ μηχανής Carnot

$$\epsilon = \frac{\text{energy we get}}{\text{energy we pay for}} = \frac{|W|}{|Q_H|} \quad (\text{efficiency, any engine}).$$

(3.3)

$$\epsilon_C = \frac{|Q_H| - |Q_L|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_L|}{|Q_H|}. \quad (3.4)$$

$$\epsilon_C = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (\text{efficiency, Carnot engine}), \quad (3.5)$$

Επειδή $T_L < T_H$ η $\epsilon_C < 1$

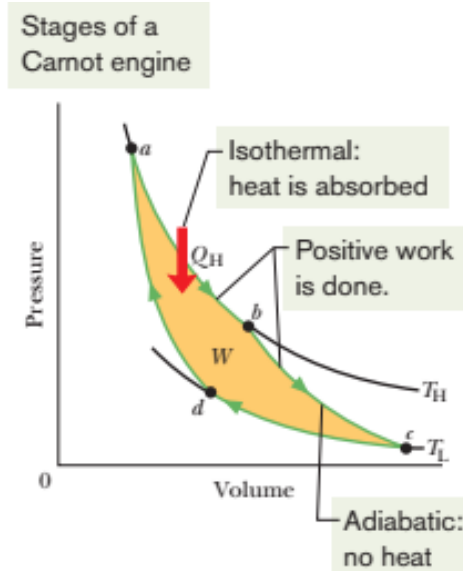
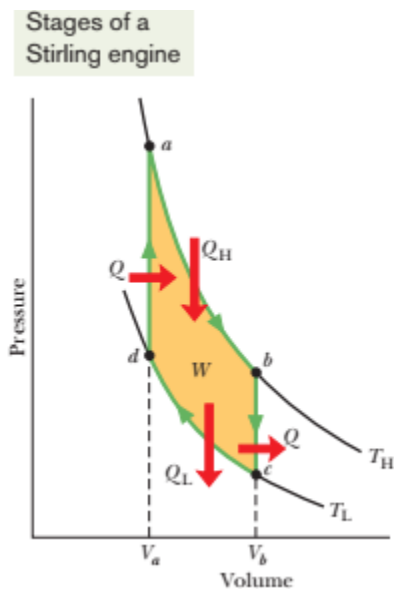
Αυτοκίνητο με μηχανή Carnot $\epsilon_C \sim 55\%$

Αυτοκίνητο με πραγματική μηχανή Carnot $\epsilon \sim 25\%$

(ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΟΥΝ 100% ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΕΤΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ)

ΜΗΧΑΝΗ STIRLING

(Ισόχωρες αντί για αδιαβατικές μεταβολές)



4 μεταβολές ΔS , $\epsilon_s < \epsilon_c$

Ψυκτικές Μηχανές

Σε μια ψυκτική μηχανή, όλες οι διαδικασίες είναι αντιστρεπτές και δεν συμβαίνει άχρηστη μεταφορά ενέργειας που οφείλεται σε τριβή και στροβιλισμό.

Ψυγείο Carnot

Perfect refrigerator:
total transfer of heat
from cold to hot
without any work

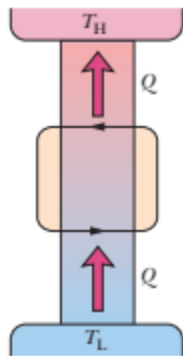


Fig. 20-15 The elements of a perfect refrigerator—that is, one that transfers energy from a low-temperature reservoir to a high-temperature reservoir without any input of work.

$$K = \frac{\text{what we want}}{\text{what we pay for}} = \frac{|Q_L|}{|W|} \quad (\text{coefficient of performance, any refrigerator}),$$

$$K_C = \frac{|Q_L|}{|Q_H| - |Q_L|}.$$

$$K_C = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (\text{coefficient of performance, Carnot refrigerator}).$$

Ψυγεία οικιακής χρήσης $K \sim 5$, κλιματιστικά $K \sim 2.5$

Το τέλειο Ψυγείο??????????????

$$\Delta S = -\frac{|Q|}{T_L} + \frac{|Q|}{T_H}.$$

$$\Delta S < 0$$

Δεν μπορεί να μεταφερθεί θερμότητα από μία δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας σε μία δεξαμενή υψηλότερης θερμοκρασίας

4 .ΕΝΤΡΟΠΙΑ ΑΠΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟΨΗ

- Μακροσκοπική ή Θερμοδυναμική Κατάσταση είναι η κατάσταση που προσδιορίζεται από τις μέσες τιμές καταστατικών μεταβλητών.
- Οι μακροκαταστάσεις προσδιορίζονται πειραματικά.
- Σε κάθε μακροκατάσταση αντιστοιχούν πολλές μικροκαταστάσεις
- Η μικροκατάσταση προσδιορίζεται αν γνωρίζουμε τις ταχύτητες και τις θέσεις όλων των σωματιδίων που αποτελούν την μακροκατάσταση σε κάθε χρονική στιγμή
- Οι μικροκαταστάσεις δεν μπορούν να διακριθούν πειραματικά.

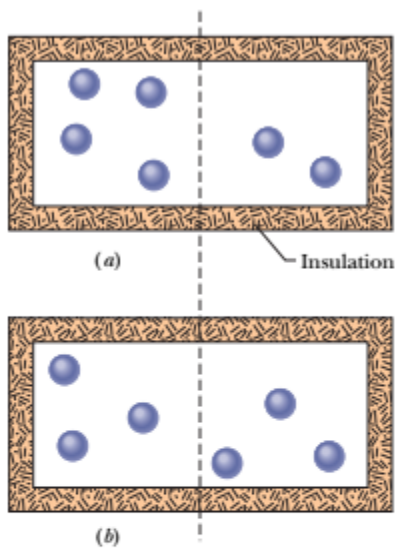


Fig. 20-17 An insulated box contains six gas molecules. Each molecule has the same probability of being in the left half of the box as in the right half. The arrangement in (a) corresponds to configuration III in Table 20-1, and that in (b) corresponds to configuration IV.

Table 20-1					
Six Molecules in a Box					
Configuration Label	n_1	n_2	Multiplicity W (number of microstates)	Calculation of W (Eq. 20-20)	Entropy 10^{-23} J/K (Eq. 20-21)
I	6	0	1	$6!/(6! 0!) = 1$	0
II	5	1	6	$6!/(5! 1!) = 6$	2.47
III	4	2	15	$6!/(4! 2!) = 15$	3.74
IV	3	3	20	$6!/(3! 3!) = 20$	4.13
V	2	4	15	$6!/(2! 4!) = 15$	3.74
VI	1	5	6	$6!/(1! 5!) = 6$	2.47
VII	0	6	1	$6!/(0! 6!) = 1$	0
			Total = 64		

$$6! = 720$$

Πλήθος διαφορετικών διατάξεων που οδηγούν σε πληθυσμιακή κατανομή (4,2)

$$W_{\text{III}} = \frac{6!}{4! 2!} = \frac{720}{24 \times 2} = 15.$$

W είναι ο αριθμός (πολλαπλότητα) ή στατιστικό βάρος των μικροκαταστάσεων που αντιστοιχούν σε μία δεδομένη πληθυσμιακή κατανομή, δηλαδή σε μία Μακροκατάσταση

$$W = \frac{N!}{n_1! n_2!} \quad (\text{multiplicity of configuration}).$$

**Όλες οι διατάξεις είναι εξίσου πιθανές
(και οι 15) για Μακροκατάσταση (4,2)**

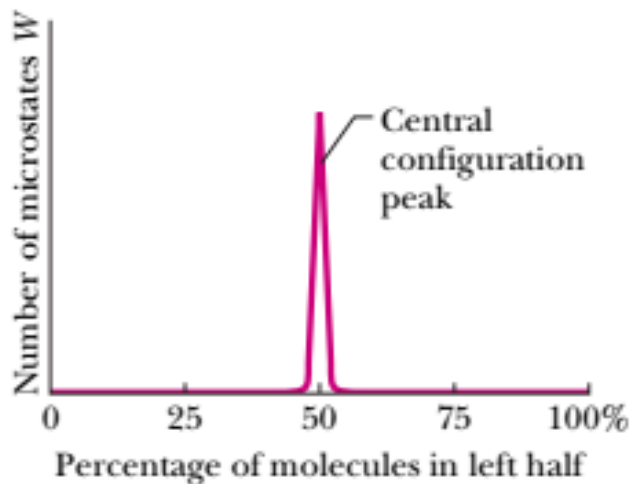
Είναι όλες οι Μακροκαταστάσεις εξ ίσου πιθανές?

**Το πλήθος των διαφορετικών μικροκαταστάσεων είναι
64**

Η πιο πιθανή ΜΑΚΡΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ είναι αυτή με 20 μικροκαταστάσεις διότι

$20/64=0.313$ το σύστημα βρίσκεται το 31.3% του χρόνου στην μακροκατάσταση αυτή (θερμική ισορροπία)

Ενώ για να βρίσκονται τα μόρια στο μισό του κουτιού έχουμε $1/64=0.016$ ή 1.6%



$S=k_B \ln W$ (Εξίσωση εντροπίας του Boltzman)

k_B η σταθερά του Boltzman

$$\ln N! \approx N(\ln N) - N \quad (\text{Stirling's approximation}).$$

5 .Η ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

- Μας ενδιαφέρει να συγκρίνουμε δείγματα με τον ίδιο αριθμό ατόμων ή μορίων
- Ποιος είναι όμως αυτός ο αριθμός.
- 1 γραμμομόριο (mole) είναι το πλήθος των ατόμων σε 12g ισότοπου ^{12}C
- Το πλήθος αυτό είναι

$$N_A = 6.02214179(30) \times 10^{23} \text{ molecules/mol (Avogadro's number)}$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad (\text{Avogadro's number}),$$



16-11 Πόσο είναι ένα γραμμομόριο (mol); Η φωτογραφία δείχνει από ένα γραμμομόριο (από αριστερά προς τα δεξιά) των ουσιών: σκόγια μολύβδου, γαλβανά κέρματα, σακχαρόζη (κοινή ζάχαρη, επάνω δίσκος), διχρωμικό κάλλιο $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, αλάτι (κάτω δίσκος), υδράργυρος (στο ποτήρι ζέσεως), νερό (σε κωνική φιάλη) και θείο.

1 mole περιέχει N_A μόρια
 n mole περιέχουν N μόρια,

έτσι

$$n = \frac{N}{N_A}$$

Εάν M είναι η μάζα ενός mole (για το ισότοπο ^{12}C $M=12\text{g}$)
ή αλλιώς γραμμομοριακή μάζα

M_{sam} είναι η μάζα του δείγματος

m είναι η μοριακή μάζα (η μάζα ενός μορίου)

τότε

$$n = \frac{M_{\text{sam}}}{M} = \frac{M_{\text{sam}}}{mN_A}$$

ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ

Για χαμηλές πυκνότητες (δεν αλληλεπιδρούν τα μόρια) πειραματικά βρέθηκε ότι όλα τα πραγματικά αέρια τείνουν να υπακούουν στην σχέση

$$pV = nRT \quad (\text{ideal gas law}),$$

$$R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}.$$

R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων

$$k_B = \frac{R}{N_A} \quad (\text{σταθερά του Boltzmann})$$

$$R = k_B N_A$$

$$n = \frac{N}{N_A}.$$

$$nR = Nk_B$$

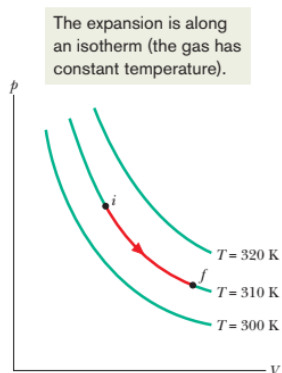
$$pV = Nk_B T$$



Fig. 19-1 A railroad tank car crushed overnight. (Photo courtesy www.Houston.RailFan.net)

ΕΡΓΟ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΙΔΑΝΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΣΕ Τ=ΣΤΑΘΕΡΗ

Ισόθερμη εκτόνωση η συμπίεση



$$p = nRT \frac{1}{V} = (\text{a constant}) \frac{1}{V}.$$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p \, dV.$$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} \, dV.$$

$$W = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = nRT \left[\ln V \right]_{V_i}^{V_f}.$$

$$W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} \quad (\text{ideal gas, isothermal process}).$$

Εκτόνωση $V_f > V_i$ άρα $W > 0$

Συμπίεση $V_f < V_i$ άρα $W < 0$

ΕΡΓΟ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΙΔΑΝΙΚΟ ΑΕΡΙΑ ΣΕ V=ΣΤΑΘΕΡΟ

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV.$$

$dV=0$, άρα $W=0$.

ΕΡΓΟ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΙΔΑΝΙΚΟ ΑΕΡΙΑ ΣΕ p=ΣΤΑΘΕΡΗ

$$W = p(V_f - V_i) = p \Delta V$$

p, T και ενεργός ταχύτητα

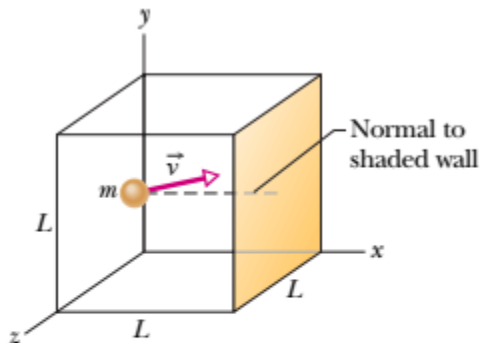


Fig. 19-4 A cubical box of edge length L , containing n moles of an ideal gas. A molecule of mass m and velocity \vec{v} is about to collide with the shaded wall of area L^2 . A normal to that wall is shown.

Ορμή πρίν

$$\vec{p}_{ix} = m\vec{v}_{ix}$$

Ορμή μετά

$$\vec{p}_{fx} = m\vec{v}_{fx}$$

Μεταβολή της ορμής

$$\Delta\vec{p}_x = \vec{p}_{fx} - \vec{p}_{ix} = -mv_{ix}\hat{i} - mv_{ix}\hat{i} = -2mv_{ix}\hat{i}$$

Θετώντας $v_{ix}=v_x$

$$\Delta p_x = -2mv_x$$

Εάν Δt ο χρόνος ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κρούσεις στο ίδιο τοίχωμα τότε

$$v_x = \frac{2L}{\Delta t}$$

Το μόριο ασκεί δύναμη στο τοίχωμα

$$(\vec{F} = d\vec{p}/dt)$$

$$\frac{\Delta p_x}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{2L/v_x} = \frac{mv_x^2}{L}$$

Αν αντί για την ολική δύναμη πάρουμε την πίεση p

$$p = \frac{F_x}{L^2} = \frac{mv_{x1}^2/L + mv_{x2}^2/L + \dots + mv_{xN}^2/L}{L^2}$$
$$= \left(\frac{m}{L^3}\right)(v_{x1}^2 + v_{x2}^2 + \dots + v_{xN}^2),$$

Εάν έχουμε $N=nN_A$ μόρια τότε μπορούμε τον όρο των ταχυτήτων στην παρένθεση να τον αντικαταστήσουμε με τον μέσο όρο v_{avg}^2 οπότε

$$p = \frac{nmN_A}{L^3} (v_x^2)_{\text{avg}}.$$

Επειδή $M=mN_A$ και $V=L^3$

$$p = \frac{nM(v_x^2)_{\text{avg}}}{V}.$$

Θεωρώντας ότι οι ταχύτητες στις τρεις διαστάσεις είναι ισοπίθανες

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2.$$

$$v_x^2 = \frac{1}{3}v^2.$$

$$p = \frac{nM(v^2)_{\text{avg}}}{3V}.$$

Ορίζουμε σαν **ενεργή ταχύτητα** v_{rms} την τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου των ταχυτήτων

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{v_{\text{avg}}^2}$$

$$p = \frac{nMv_{\text{rms}}^2}{3V}.$$

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$$

Table 19-1**Some RMS Speeds at Room Temperature ($T = 300\text{ K}$)^a**

Gas	Molar Mass (10^{-3} kg/mol)	v_{rms} (m/s)
Hydrogen (H_2)	2.02	1920
Helium (He)	4.0	1370
Water vapor (H_2O)	18.0	645
Nitrogen (N_2)	28.0	517
Oxygen (O_2)	32.0	483
Carbon dioxide (CO_2)	44.0	412
Sulfur dioxide (SO_2)	64.1	342

^aFor convenience, we often set room temperature equal to 300 K even though (at 27°C or 81°F) that represents a fairly warm room.

Μεταφορική κινητική ενέργεια

$$v_{rms} = \sqrt{v_{avg}^2}$$

$$K_{avg} = \left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{avg} = \frac{1}{2}m(v^2)_{avg} = \frac{1}{2}mv_{rms}^2,$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$$

$$K_{avg} = \left(\frac{1}{2}m\right) \frac{3RT}{M}.$$

$$K_{avg} = \frac{3RT}{2N_A}.$$

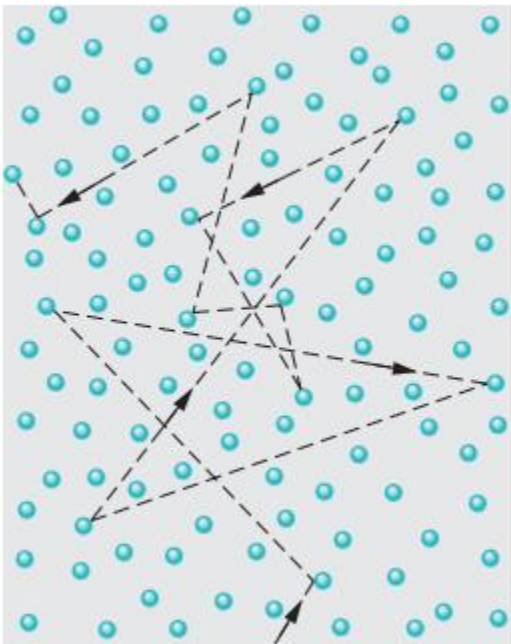
Επειδή

$$k_B = \frac{R}{N_A} \text{ (Σταθερά του Boltzman)}$$

$$K_{avg} = \frac{3}{2}k_B T$$

Σε δεδομένη θερμοκρασία όλα τα μόρια ιδανικού αερίου, ανεξάρτητα από την μάζα τους έχουν την ίδια μέση μεταφορική κινητική ενέργεια. Όταν μετράμε την θερμοκρασία ενός αερίου μετράμε και την μέση μεταφορική κινητική ενέργεια των μορίων του.

Μέση ελεύθερη διαδρομή



Μέση ελεύθερη διαδρομή λ είναι η μέση απόσταση που διανύει ένα μόριο ανάμεσα σε διαδοχικές συγκρούσεις

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 N/V} \quad (\text{mean free path}).$$

N/V είναι η πυκνότητα των μορίων

d είναι η διάμετρος του μορίου.

Εστω ένα μονοατομικό ιδανικό αέριο (He, Ne, Ar)

$$E_{\text{int}} = NK_{\text{avg}} = nN_A K_{\text{avg}} = nN_A \frac{3}{2} k_B T$$

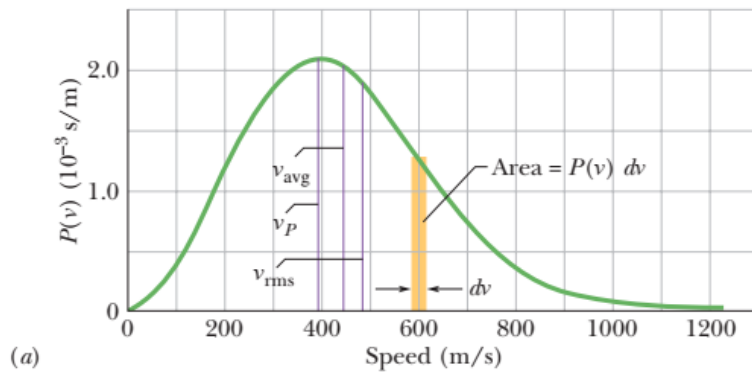
$$E_{\text{int}} = \frac{3}{2} nRT \quad (\text{monatomic ideal gas}).$$

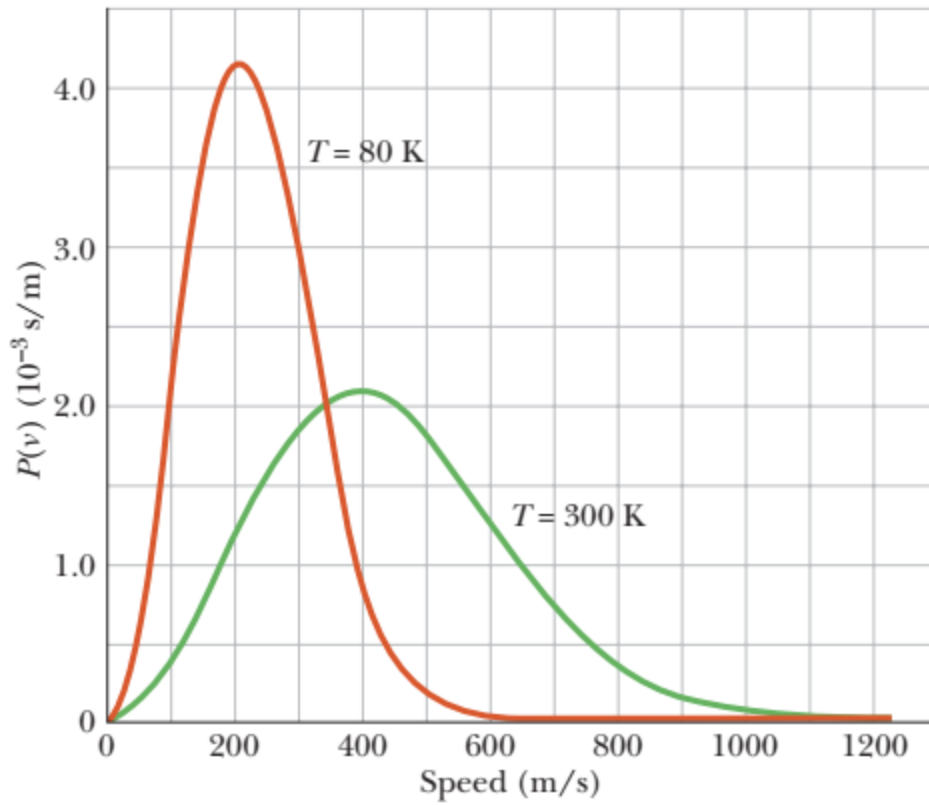
Κατανομή των Μοριακών ταχυτήτων (Νόμος του Maxwell)

$$P(v) = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 e^{-Mv^2/2RT}.$$

M είναι γραμμομοριακή μάζα

P(v) η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας





b)

$$v_{\text{avg}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (\text{average speed}).$$

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (\text{rms speed}),$$

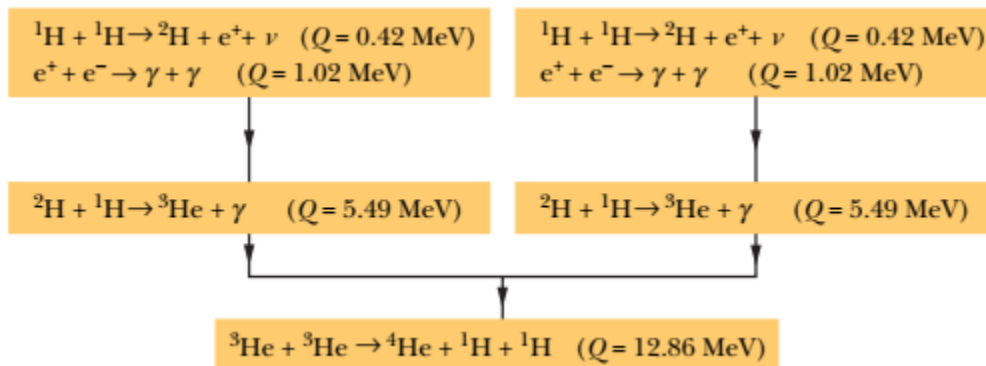
$$v_P = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \quad (\text{most probable speed}).$$

Βροχή

Τα περισσότερα μόρια δεν διαθέτουν αρκετή κινητική ενέργεια για να διαφύγουν από το νερό μέσω της διεπιφάνειας. Τα μόρια στα άκρα της κατανομής εξατμίζονται

Ηλιοφάνεια

Σύντηξη p-p



Γραμμοριακές Ειδικές Θερμότητες Ιδανικού Αερίου

Έστω μονοατομικό αέριο (He, Ne, Ar)

$$E_{int} = \sum K_{\text{μεταφορική}}$$

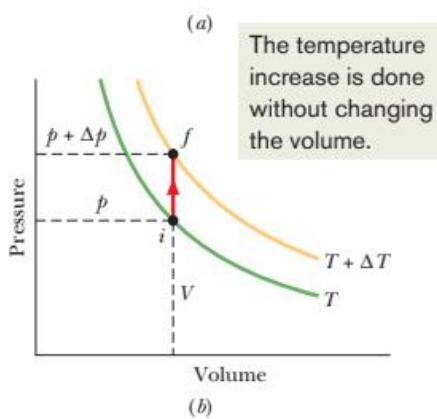
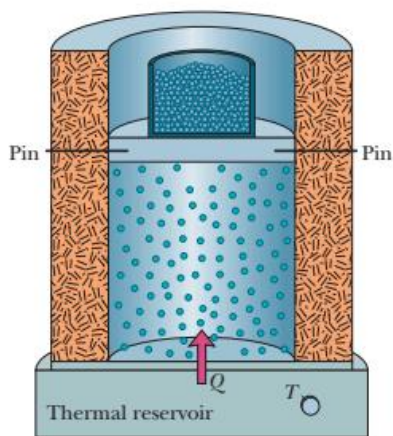
$$E_{int} = (nN_A)K_{avg} = (nN_A)\left(\frac{3}{2}kT\right).$$

$$k = R/N_A$$

$$E_{int} = \frac{3}{2}nRT \quad (\text{monatomic ideal gas}).$$

Η εσωτερική ενέργεια ιδανικού αερίου είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας. Δεν εξαρτάται από καμία άλλη μεταβλητή

Σταθερός όγκος $V = \text{σταθερό}$



$$Q = nC_V \Delta T \quad (\text{constant volume}),$$

C_V είναι η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο

Από τον 1 νόμο της θερμοδυναμικής

$$\Delta E_{\text{int}} = Q - W, \text{ επειδή } \Delta V = 0 \rightarrow W = 0$$

$$\Delta E_{\text{int}} = n C_V \Delta T$$

$$C_V = \frac{\Delta E_{\text{int}}}{n \Delta T}.$$

$$\Delta E_{\text{int}} = \frac{3}{2} n R \Delta T.$$

$$C_V = \frac{3}{2} R = 12.5 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad (\text{monatomic gas}).$$

Η κινητική θεωρία δίνει το αποτέλεσμα αυτό

Πειραματικά αποτελέσματα

Table 19-2

Molar Specific Heats at
Constant Volume

Molecule	Example	C_V (J/mol · K)
Monatomic	Ideal	$\frac{3}{2}R = 12.5$
	Real	He 12.5
		Ar 12.6
Diatomic	Ideal	$\frac{5}{2}R = 20.8$
	Real	N ₂ 20.7
		O ₂ 20.8
Polyatomic	Ideal	$3R = 24.9$
	Real	NH ₄ 29.0
		CO ₂ 29.7

Αν στην σχέση

$$E_{\text{int}} = \frac{3}{2}nRT \quad (\text{monatomic ideal gas}).$$

Αντικαταστήσουμε την R από την
σχέση

$$C_V = \frac{3}{2}R = 12.5 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad (\text{monatomic gas}).$$

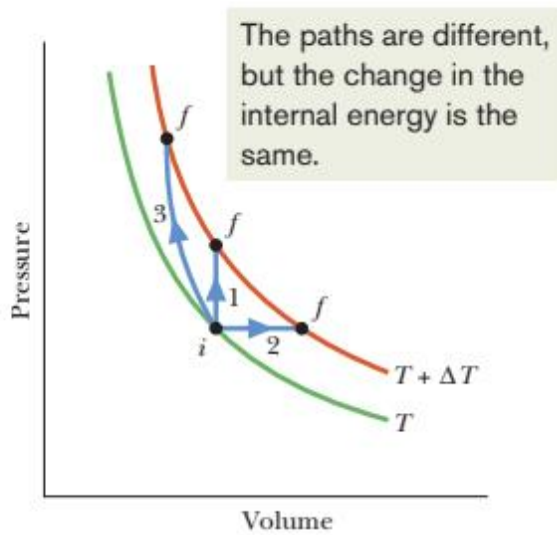
έχουμε

$$E_{\text{int}} = nC_V T \quad (\text{any ideal gas}).$$

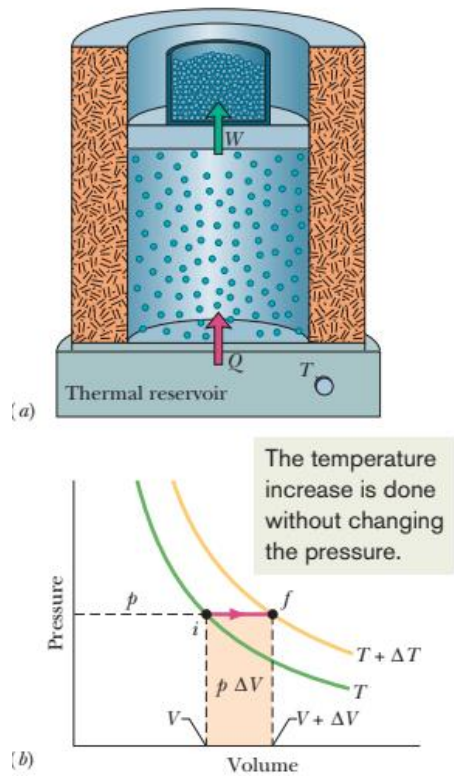
και

$$\Delta E_{\text{int}} = nC_V \Delta T \quad (\text{ideal gas, any process}).$$

Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας δεδομένης μάζας ιδανικού αερίου εξαρτάται μόνο από την T . Δεν εξαρτάται από τον τύπο της διαδικασίας με την οποία γίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας



Σταθερή Πίεση p =σταθερή



$$Q = nC_p \Delta T \quad (\text{constant pressure}),$$

C_p είναι η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση

$C_p > C_v$ (γιατί????????????)

$$\Delta E_{\text{int}} = Q - W$$

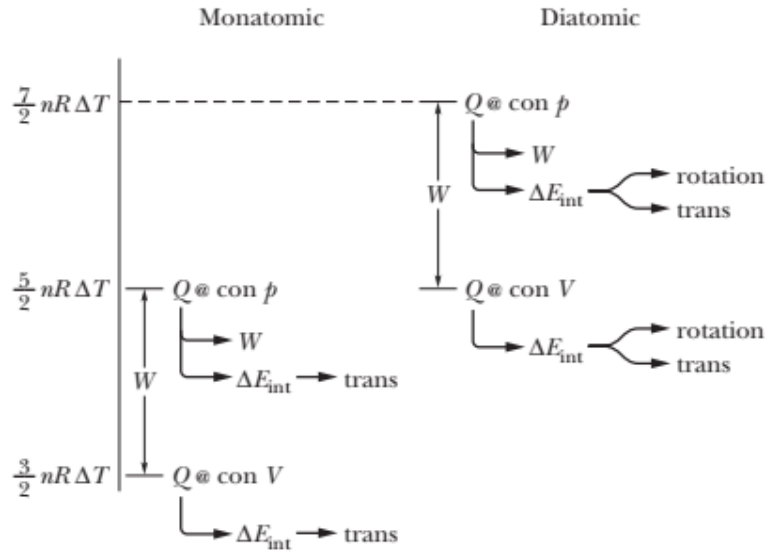
$$\Delta E_{\text{int}} = nC_V \Delta T \quad (\text{ideal gas, any process}).$$

$$Q = nC_p \Delta T \quad (\text{constant pressure}),$$

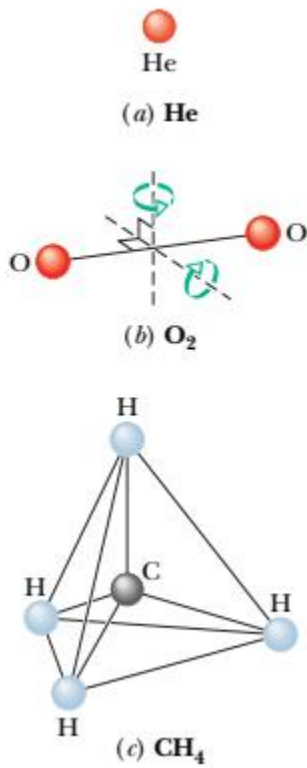
$$W = p \Delta V = nR \Delta T.$$

$$C_p = C_V + R.$$

Fig. 19-12 The relative values of Q for a monatomic gas (left side) and a diatomic gas (right side) undergoing a constant-volume process (labeled “con V ”) and a constant-pressure process (labeled “con p ”). The transfer of the energy into work W and internal energy (ΔE_{int}) is noted.



Βαθμοί ελευθερίας



ΚΑΘΕ ΒΑΘΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ ΕΧΕΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΗ ΜΕ ΑΥΤΟΝ ΙΣΗ ΚΑΤ Α ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΜΕ $1/2k_B T$ ανά μόριο ή $1/2RT$ ανα mole

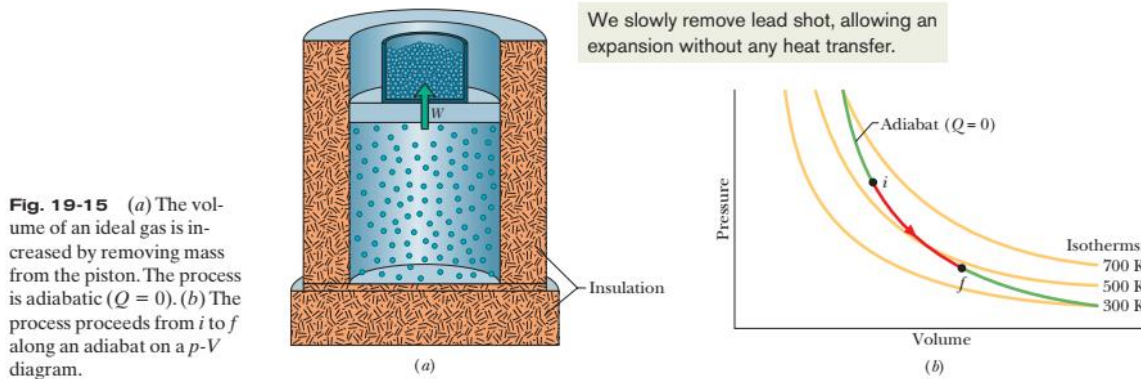
Table 19-3

Degrees of Freedom for Various Molecules

Molecule	Example	Degrees of Freedom			Predicted Molar Specific Heats	
		Translational	Rotational	Total (f)	C_V (Eq. 19-51)	$C_p = C_V + R$
Monatomic	He	3	0	3	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$
Diatomic	O ₂	3	2	5	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$
Polyatomic	CH ₄	3	3	6	$3R$	$4R$

Αδιαβατική εκτόνωση Ιδανικού Αερίου

$Q=0$, ισχυρή μόνωση ή $\Delta t \rightarrow 0$



$$pV^\gamma = \text{a constant} \quad (\text{adiabatic process}),$$

$$\gamma = C_p / C_V,$$

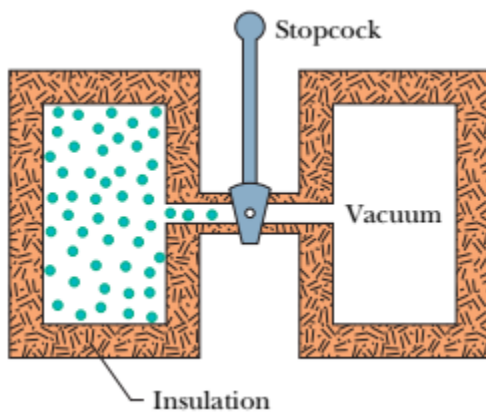
$$\left(\frac{nRT}{V}\right)V^\gamma = \text{a constant.}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{a constant} \quad (\text{adiabatic process}),$$

Ελεύθερη εκτόνωση

Χαρακτηριστικό $Q=W=0$

$$\Delta E_{\text{int}}=0$$



Αφού

$$\Delta E_{\text{int}}=0$$

$$T_i = T_f \quad (\text{free expansion}).$$

Από την

$pV=nRT$ προκύπτει

$$p_i V_i = p_f V_f \quad (\text{free expansion}).$$