

Φυσική

Τεύχος Β΄
Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών &
Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη
Γενικού Λυκείου

3ος τόμος

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

**ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ: ΑΛΕΚΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ
ΓΙΑΝΝΗΣ ΝΤΑΝΟΣ
ΑΓΓΕΛΟΣ ΠΗΤΤΑΣ
ΣΤΑΥΡΟΣ ΡΑΠΤΗΣ**

Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ.

**Υποπρόγραμμα 1: ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

**Μέτρο 1.1: ΑΝΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟ-
ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙ-
ΔΕΥΣΗΣ**

**Ενέργεια 1.1α: Προγράμματα -
βιβλία**

**ΕΡΓΟ: ΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚ-
ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜ-
ΜΑΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑ-
ΡΑΓΩΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ»



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
ανάπτυξη στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι διορθώσεις πραγματοποιήθηκαν κατόπιν έγκρισης του Δ.Σ. του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής

**Η αξιολόγηση, η κρίση
των προσαρμογών και
η επιστημονική επιμέλεια
του προσαρμοσμένου βιβλίου
πραγματοποιείται από τη Μονάδα
Ενταξιακής και Ειδικής
Εκπαίδευσης του Ινστιτούτου
Εκπαιδευτικής Πολιτικής.**

**Η προσαρμογή του βιβλίου
για μαθητές με μειωμένη όραση
από το ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ
πραγματοποιείται με βάση
τις προδιαγραφές που έχουν
αναπτυχθεί από ειδικούς
εμπειρογνώμονες για το ΙΕΠ.**

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ
ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ
ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ**

ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Α. ΙΩΑΝΝΟΥ - Γ. ΝΤΑΝΟΣ
Α. ΠΗΤΤΑΣ - Σ. ΡΑΠΤΗΣ**

**Η συγγραφή και η επιστημονική
επιμέλεια του βιβλίου
πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα
του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου**

Φυσική

Τεύχος Β΄

Ομάδας Προσανατολισμού

Θετικών Σπουδών &

Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη Γενικού Λυκείου

3ος τόμος

Ι.Τ.Υ.Ε. «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»



ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

2

Εντροπία..... 6

Σύνοψη 37

2-14 ΕΝΤΡΟΠΙΑ

Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος, όπως διατυπώθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, δεν καταλήγει σε κάποια ποσοτική σχέση.

Ποσοτική διατύπωση του 2ου θερμοδυναμικού νόμου έγινε δυνατή με την εισαγωγή μιας νέας έννοιας, της έννοιας **εντροπία** (σύμβολο S).



**Εικ. 2.12 Ρούντολφ Κλαούζιους
(1822-1888). Γερμανία. Ένας από
τους θεμελιωτές της θερμοδυναμικής.**

Η εντροπία εισήχθη από τον Clausius, ο οποίος όρισε τη μεταβολή της εντροπίας (ΔS) συστήματος κατά τη διάρκεια μιας πολύ μικρής αντιστρεπτής μεταβολής, τόσο μικρή ώστε η θερμοκρασία του συστήματος να μπορεί να θεωρηθεί σταθερή, ως το πηλίκο του ποσού θερμότητας ΔQ που απορρόφησε ή απέβαλε το σύστημα προς τη θερμοκρασία του συστήματος.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (2.26)$$

Μονάδα της εντροπίας στο SI είναι το 1 J / K .

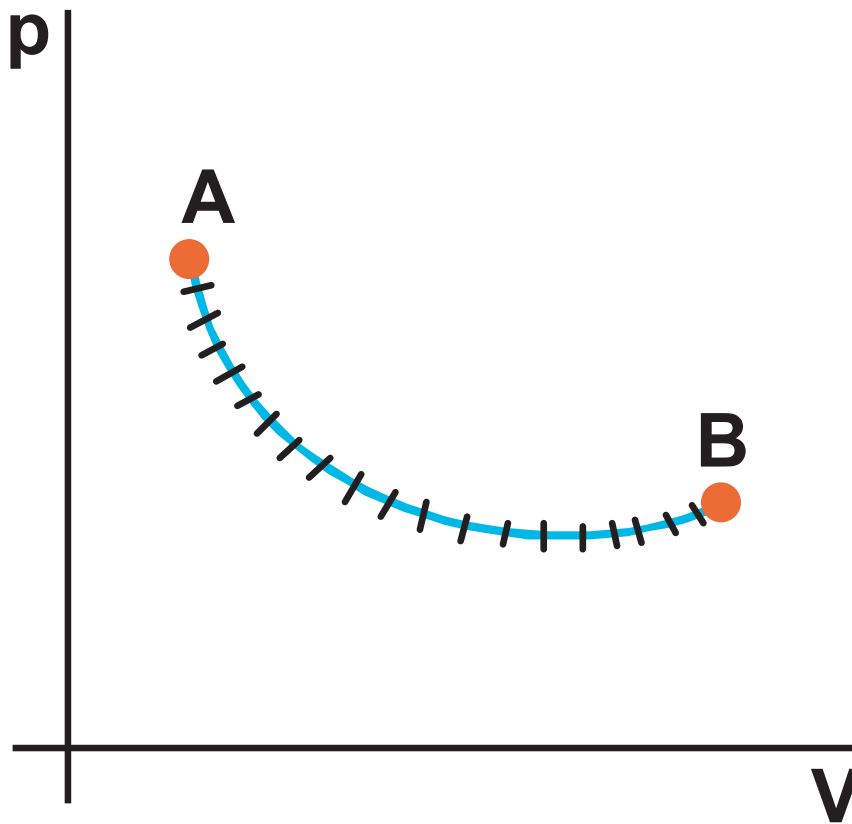
Όταν σε μια αντιστρεπτή μεταβολή το σύστημα απορροφά θερμότη-

τα το ΔQ είναι θετικό, επομένως η εντροπία αυξάνεται. Όταν το σύστημα αποβάλλει θερμότητα το ΔQ είναι αρνητικό και επομένως η εντροπία μειώνεται.

Προσοχή: η σχέση (2.26) δεν ορίζει την εντροπία αλλά μόνο τη μεταβολή της σε μια αντιστρεπτή διεργασία στην οποία το σύστημα ανταλλάσσει με το περιβάλλον απειροστά μικρό ποσό θερμότητας ΔQ .

Σε μια αντιστρεπτή μεταβολή κατά την οποία ένα θερμοδυναμικό σύστημα μεταβαίνει από μία αρχική κατάσταση A σε μια τελική κατάσταση B, η συνολική μεταβολή της εντροπίας μπορεί να υπολογιστεί αν χωρίσουμε τη διεργασία σε πολύ μικρές μεταβολές (σχ. 2.24),

υπολογίσουμε τη μεταβολή της εντροπίας σε κάθε μια από αυτές και αθροίσουμε όλους τους όρους.

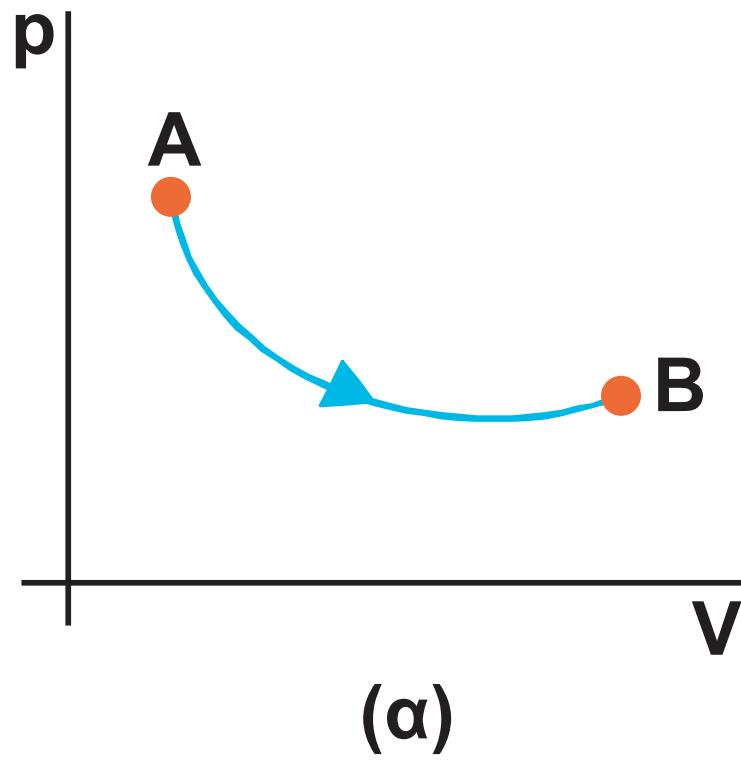
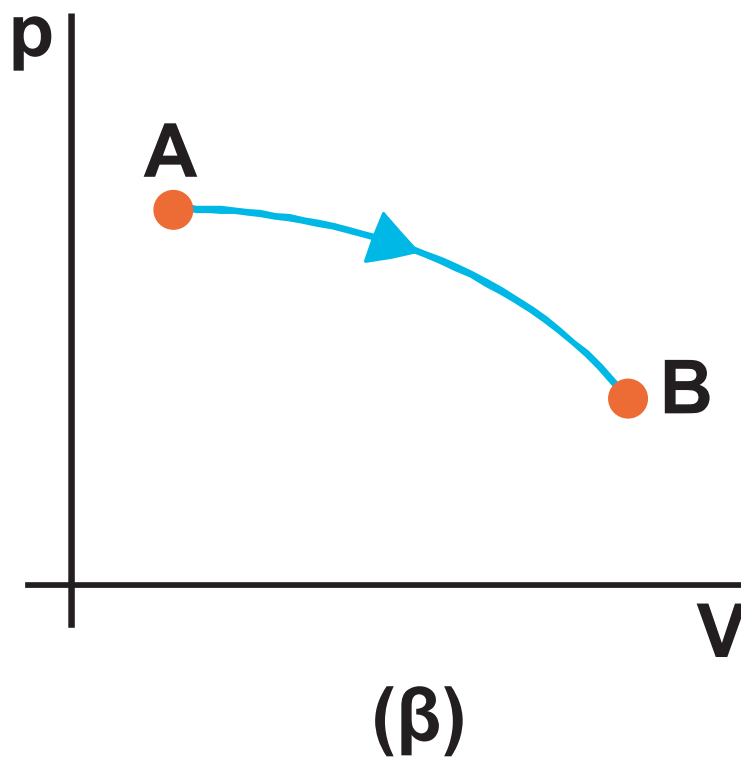


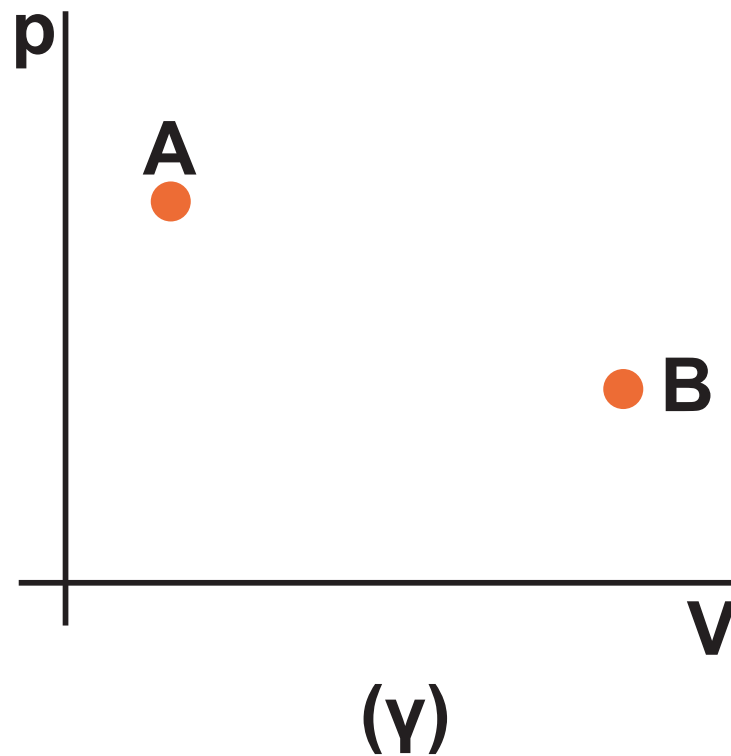
Σχ. 2.24 Σε μια αντιστρεπτή μεταβολή, η μεταβολή της εντροπίας υπολογίζεται αν χωρίσουμε τη μεταβολή σε στοιχειώδεις μεταβολές και αθροίσουμε τις μεταβολές της εντροπίας σε κάθε μια από αυτές.

$$\begin{aligned}
 S_B - S_A &= \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots \Delta S_v = \\
 &= \frac{\Delta Q_1}{T_1} + \frac{\Delta Q_2}{T_2} + \dots \frac{\Delta Q_v}{T_v} \quad (2.27)
 \end{aligned}$$

Η μεταβολή της εντροπίας ενός συστήματος έχει την ίδια τιμή για όλες τις μεταβολές που οδηγούν από μία αρχική κατάσταση A σε μία τελική κατάσταση B, αντιστρεπτές ή μη.

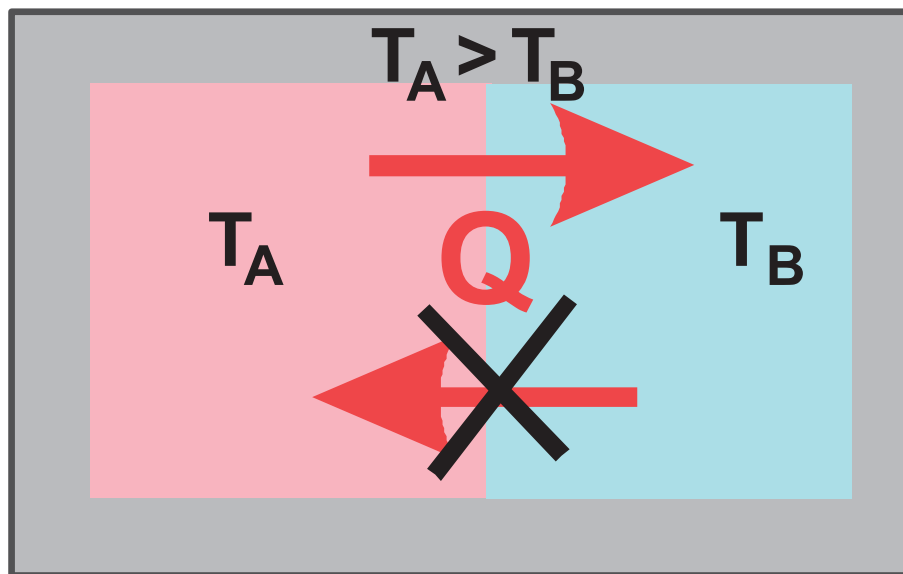
Η μεταβολή της εντροπίας ενός συστήματος εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική του κατάσταση και όχι από το πώς πραγματοποιήθηκε η μεταβολή.





Σχ. 2.25 Στα διαγράμματα (α) και (β) ένα θερμοδυναμικό σύστημα μεταβαίνει από την κατάσταση A στην κατάσταση B με διαφορετικό κάθε φορά αντιστρεπτό τρόπο. Στο (γ) το ίδιο σύστημα μεταβαίνει από την κατάσταση A στη B με μη αντιστρεπτό τρόπο που δεν μπορεί να παρασταθεί γραφικά. Η μεταβολή της εντροπίας του συστήματος είναι ίδια σε όλες τις περιπτώσεις.

Ίσως βέβαια τα όσα είπαμε μέχρι τώρα να μη βοήθησαν καθόλου στο να κατανοήσετε την ανάγκη εισαγωγής αυτής της νέας έννοιας, της εντροπίας. Ελπίζουμε όμως στη συνέχεια να πεισθείτε για τη χρησιμότητα του νέου μεγέθους.



Σχ. 2.26 Η θερμότητα μεταφέρεται αυθόρμητα από σώματα υψηλότερης θερμοκρασίας προς σώματα χαμηλότερης. Το αντίστροφο αποκλείεται.

Έστω ένα σύστημα που αποτελείται από δύο σώματα το Α και το Β, με θερμοκρασίες T_A και T_B αντίστοιχα. Το σύστημα είναι μονωμένο από το περιβάλλον (σχ. 2.26). Αν $T_A > T_B$, θα μετακινηθεί θερμότητα από το σώμα Α στο Β. Το αντίστροφο το αποκλείει ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος. Ας φανταστούμε μια αντιστρεπτή διαδικασία που μεταφέρει ένα πολύ μικρό ποσό θερμότητας ΔQ από το σώμα Α στο Β, τόσο μικρό ώστε να μπορούμε να λέμε ότι οι θερμοκρασίες των σωμάτων δεν μεταβλήθηκαν. Η μεταβολή της εντροπίας του σώματος

Α θα είναι $\Delta S_A = - \frac{|\Delta Q|}{T_A}$, ενώ του Β

$$\Delta S_B = \frac{|\Delta Q|}{T_B}.$$

Η εντροπία του συστήματος θα μεταβληθεί, κατά

$$\Delta S = \Delta S_A + \Delta S_B = -\frac{|\Delta Q|}{T_A} + \frac{|\Delta Q|}{T_B}$$

και επειδή $T_A > T_B$ είναι $\frac{|\Delta Q|}{T_B} > \frac{|\Delta Q|}{T_A}$
επομένως $\Delta S > 0$.

Στο υποθετικό αυτό παράδειγμα, ο δεύτερος νόμος μάς οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η εντροπία του απομονωμένου συστήματος αυξήθηκε. Το ίδιο συμβαίνει σε κάθε απομονωμένο σύστημα. Επομένως η έννοια της εντροπίας μάς επιτρέπει να επαναδιατυπώσουμε το δεύτερο νόμο ως εξής:

Κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε μεταβολής ενός απομονωμένου συστήματος η εντροπία αυξάνεται.

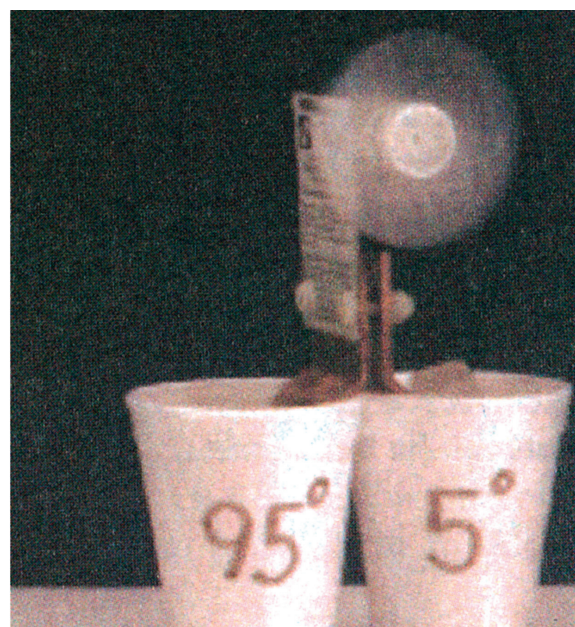
Η εντροπία του συστήματος αποκτά τη μέγιστη τιμή της όταν επέλθει ισορροπία. Στην περίπτωση μας το σύστημα ισορροπεί όταν εξισωθούν οι θερμοκρασίες των δύο σωμάτων.

Από ενεργειακή άποψη στο σύστημα αυτό αρχικά θα μπορούσε να λειτουργήσει μια θερμική μηχανή χρησιμοποιώντας ως δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας το σώμα Α και ως δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας το σώμα Β. Η εξίσωση των θερμοκρασιών δεν παρέχει πια αυτή τη δυνατότητα.

Η αύξηση της εντροπίας ενός συστήματος οδηγεί στην ελάττωση της ικανότητας του συστήματος να παράγει ωφέλιμο έργο.



(α)



(β)

Εικ. 2.13 Τα δύο χάλκινα ελάσματα όταν βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες αναπτύσσουν μεταξύ τους διαφορά δυναμικού που επιτρέπει τη λειτουργία του ανεμιστήρα. Στην περίπτωση (α) το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία, έχει τη μέγιστη δυνατή εντροπία και δεν έχει δυνατότητα παραγωγής έργου. Στην περίπτωση (β) το σύστημα δεν βρίσκεται σε ισορροπία, η εντροπία του είναι μικρότερη και έχει τη δυνατότητα παραγωγής έργου.

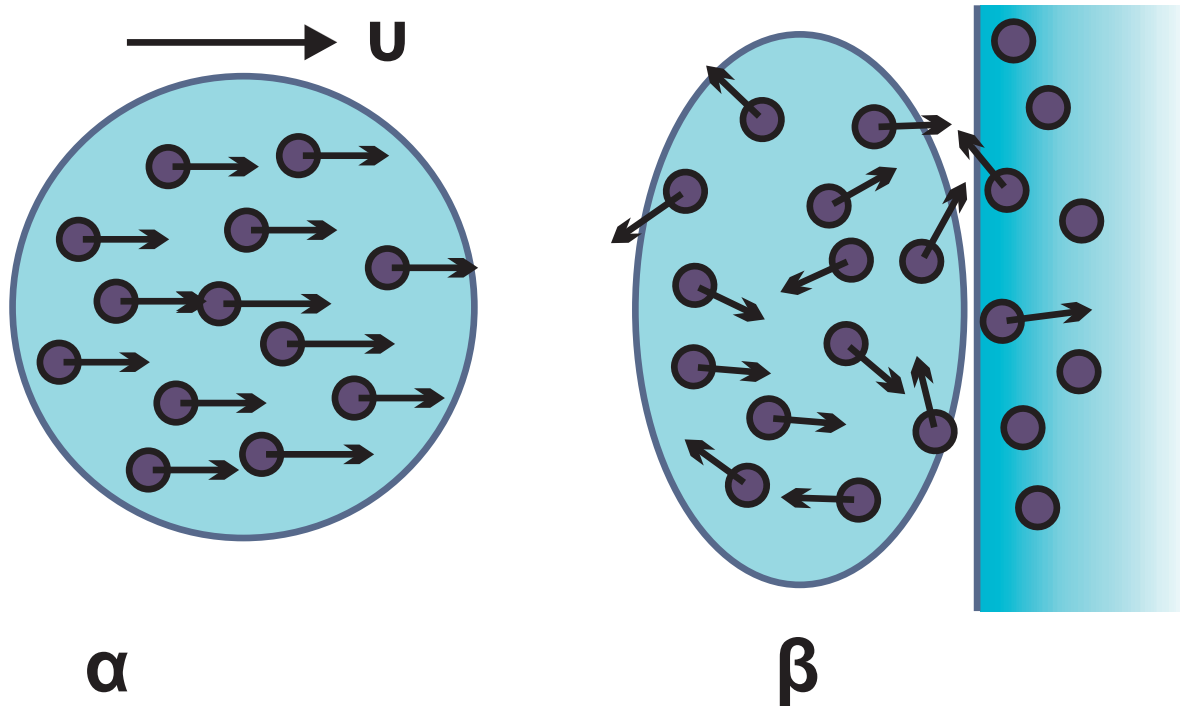
Μικροσκοπική ερμηνεία της εντροπίας

Στη δεκαετία του 1870 ο Boltzmann συνέδεσε την εντροπία, έννοια μακροσκοπική, με τη μικροσκοπική δομή του συστήματος και έδωσε στην έννοια νέο περιεχόμενο. Ο Boltzmann συνέδεσε το μέγεθος εντροπία με την αταξία που επικρατεί στα δομικά στοιχεία ενός συστήματος.

Όταν μεγαλώνει η αταξία που επικρατεί σε ένα σύστημα μεγαλώνει και η εντροπία του.

Έστω ένα σώμα πολύ χαμηλής θερμοκρασίας (κοντά στο απόλυτο μηδέν), που κινείται με ταχύτητα u . Τα σωματίδια από τα οποία

αποτελείται το σώμα έχουν όλα τη μεταφορική ταχύτητα u του σώματος και λόγω της πολύ χαμηλής θερμοκρασίας είναι σχεδόν ακίνητα ως προς αυτό. Η κινητική ενέργεια του σώματος είναι, σχεδόν, όση και το άθροισμα των κινητικών ενεργειών των μορίων του. Το σώμα στην πορεία του συναντά ένα εμπόδιο και συγκρούεται. Κατά τη σύγκρουση δε χάνεται ενέργεια. Αν αθροίσουμε τις κινητικές ενέργειες των μορίων του σώματος μετά τη σύγκρουση η ενέργεια που θα πάρουμε είναι όση και πριν. Για να είμαστε πιο ακριβείς, στους υπολογισμούς μας θα πρέπει να συμπεριλάβουμε και την αύξηση των κινητικών ενεργειών των μορίων του εμποδίου γύρω από το σημείο της σύγκρουσης.



Σχ. 2.27 (α) Σώμα πολύ χαμηλής θερμοκρασίας εκτελεί μεταφορική κίνηση. Όλα τα μόριά του έχουν την ίδια ταχύτητα. (β) Το σώμα έχει συγκρουστεί με ακίνητο εμπόδιο. Οι ταχύτητες των μορίων έχουν τυχαίο προσανατολισμό. Η εντροπία, κατά τη σύγκρουση, αυξήθηκε.

Όμως, ενώ πριν συγκρουστεί τα μόρια του σώματος είχαν όλα την ίδια ταχύτητα (σχ. 2.27α) μετά τη σύγκρουση τα μόρια κινούνται άτακτα

προς όλες τις κατευθύνσεις (σχ. 2.27β). Πριν τη σύγκρουση το σώμα είχε κάποια κινητική ενέργεια η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή έργου, λόγου χάριν θα μπορούσε να καρφώσει μια πινέζα στον τοίχο. Μετά τη σύγκρουση η συνολική ενέργεια δεν άλλαξε, είναι όμως αδύνατον πια να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια του συστήματος. Η αταξία του συστήματος αυξήθηκε, μετά τη σύγκρουση. Αν μπορούσαμε να τη μετρήσουμε θα διαπιστώναμε ότι η εντροπία αυξήθηκε.

Από μακροσκοπική άποψη η αύξηση της εντροπίας οδηγεί σε μείωση της ικανότητας για παραγωγή έργου, ενώ από μικροσκοπική άποψη η αύξηση της εντροπίας οδηγεί σε αύξηση της αταξίας του συστήματος.

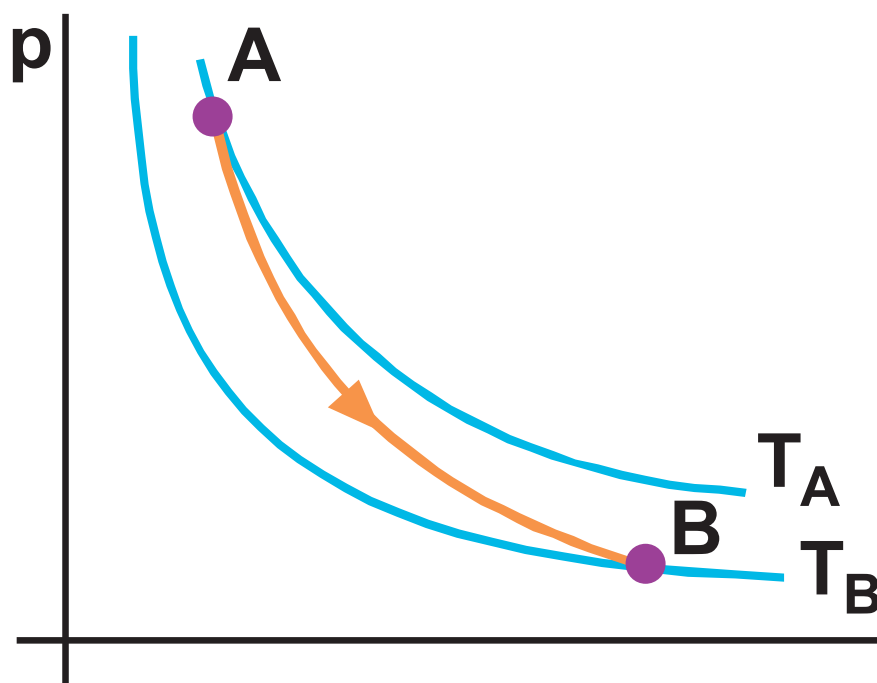


Εικ. 2.14 Τα Γλαρονήσια, στα βόρεια της Μήλου, έχουν προκύψει από ηφαιστειακή δράση. Η λάβα κατά την ψύξη της πήρε ασυνήθιστα γεωμετρικά, ραβδόμορφα σχήματα. Η εντροπία της λάβας μειώθηκε. Δεν γνωρίζουμε κάτω από ποιες συνθήκες συνέβη αυτό. Εκείνο για το οποίο μπορούμε να είμαστε βέβαιοι είναι το ότι καθώς μειωνόταν η εντροπία της λάβας, αυξανόταν η εντροπία του περιβάλλοντος.

2-15 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΣΕ ΜΕΡΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

Αδιαβατική αντιστρεπτή μεταβολή

Έστω ότι ένα αέριο, που βρίσκεται αρχικά στην κατάσταση A (p_A , V_A , T_A), εκτονώνεται αδιαβατικά μέχρι την κατάσταση B (p_B , V_B , T_B). Η μεταβολή του αερίου παριστάνεται γραφικά στο σχήμα 2.28.



Σχ. 2.28 Ένα αέριο εκτονώνεται αδιαβατικά από την αρχική κατάσταση A στην τελική κατάσταση B. Η εντροπία του παραμένει σταθερή.

Επειδή πρόκειται για αντιστρεπτή μεταβολή, η μεταβολή της εντροπίας ΔS_{AB} , μπορεί να υπολογιστεί αν χωρίσουμε τη διεργασία σε στοιχειώδεις μεταβολές, υπολογίσουμε τη μεταβολή της εντροπίας σε κάθε στοιχειώδη μεταβολή και

αθροίσουμε όλους του όρους.

$$\Delta S_{AB} = \frac{\Delta Q_1}{T} + \frac{\Delta Q_2}{T_2} + \dots \frac{\Delta Q_v}{T_v}$$

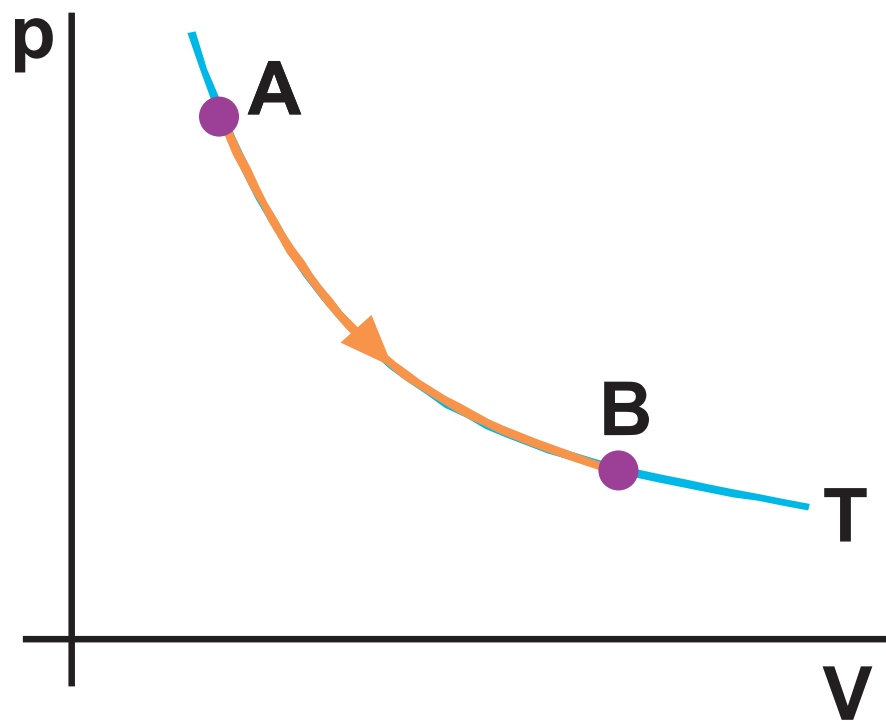
Όμως στην αδιαβατική μεταβολή το αέριο δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον, επομένως όλοι οι αριθμητές στο δεύτερο μέλος της παραπάνω σχέσης είναι μηδέν, με αποτέλεσμα

$$\Delta S_{AB} = 0$$

Στην αδιαβατική αντιστρεπτή μεταβολή η εντροπία δε μεταβάλλεται.

Ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή

Έστω ένα αέριο που βρίσκεται αρχικά στην κατάσταση A και εκτονώνεται ισόθερμα σε θερμοκρασία T μέχρι την κατάσταση B. Το σχήμα 2.29 αποδίδει γραφικά τη μεταβολή του αερίου.



Σχ. 2.29 Το αέριο εκτονώνεται ισόθερμα από την αρχική κατάσταση A στην τελική κατάσταση B. Η εντροπία του αερίου αυξάνεται.

Και εδώ επειδή η διεργασία είναι αντιστρεπτή η μεταβολή της εντροπίας υπολογίζεται όπως πριν.

$$\Delta S_{AB} = \frac{\Delta Q_1}{T} + \frac{\Delta Q_2}{T} + \dots \frac{\Delta Q_v}{T} =$$
$$= \frac{\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \dots + \Delta Q_v}{T}$$

Το άθροισμα στον αριθμητή δίνει το συνολικό ποσό θερμότητας Q που απορρόφησε το αέριο κατά τη μεταβολή. Έτσι, η σχέση γίνεται:

$$\Delta S_{AB} = \frac{Q}{T} \quad (2.28)$$

Στην ισόθερμη μεταβολή η θερμότητα που ανταλλάσσει το αέριο με το περιβάλλον δίνεται από τη σχέση $Q = nRT \ln \frac{V_B}{V_A}$ και επομένως

$$\Delta S_{AB} = nR \ln \frac{V_B}{V_A} \quad (2.29)$$

Κυκλική μεταβολή

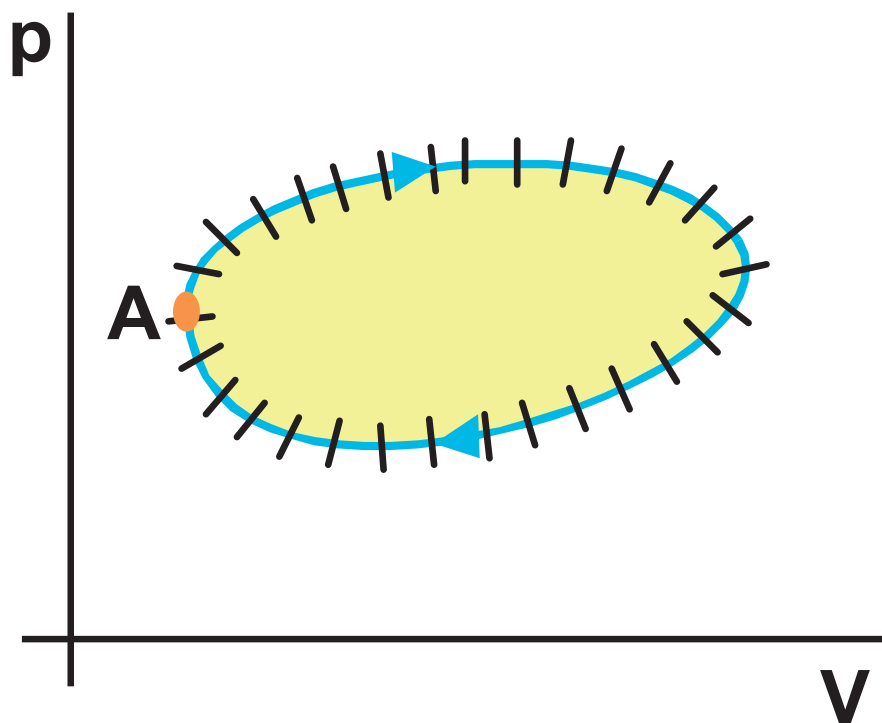
Εφ' όσον σε μια κυκλική μεταβολή -αντιστρεπτή ή όχι- το σύστημα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, η εντροπία του συστήματος δε μεταβάλλεται.

$$\Delta S_{ολ} = 0$$

Στην περίπτωση που η κυκλική μεταβολή είναι αντιστρεπτή, αν τη χωρίσουμε σε n στοιχειώδη τμήματα, ώστε σε καθένα από αυτά να μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η θερμοκρασία είναι σταθερή, θα ισχύει:

$$\Delta S_{\text{ολ}} = \frac{\Delta Q_1}{T_1} + \frac{\Delta Q_2}{T_2} + \dots + \frac{\Delta Q_v}{T_v}$$

όπου $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_v$ τα στοιχειώδη ποσά θερμότητας που προσλαμβάνει ή αποδίδει το σύστημα σε κάθε στοιχειώδες τμήμα της μεταβολής.



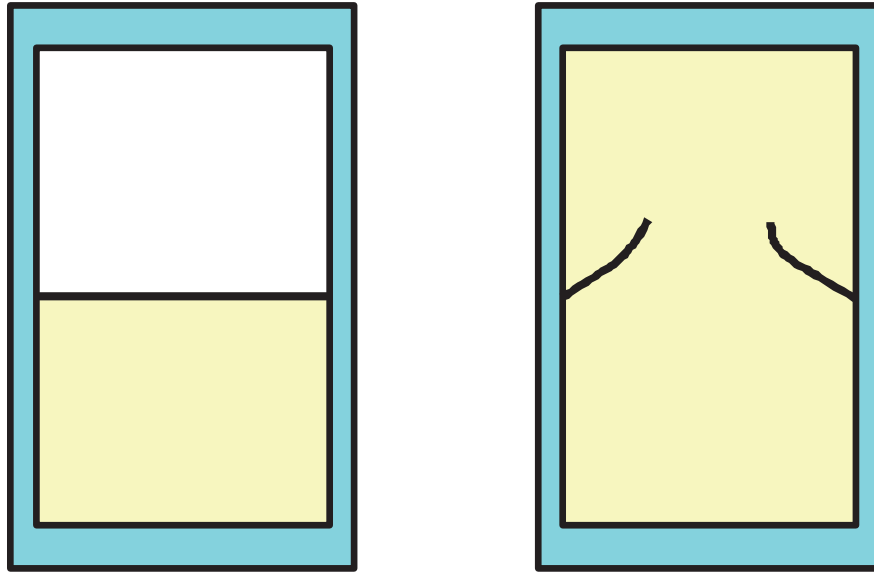
Σχ. 2.30 Αν χωρίσουμε την κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή σε στοιχειώδεις, τότε το άθροισμα των ΔS , σε όλη την κυκλική διαδρομή, είναι μηδέν.

Σε μία κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή λοιπόν ισχύει και

$$\frac{\Delta Q_1}{T_1} + \frac{\Delta Q_2}{T_2} + \dots + \frac{\Delta Q_v}{T_v} = 0$$

Ελεύθερη εκτόνωση

Ένα θερμικά μονωμένο δοχείο χωρίζεται με μεμβράνη σε δύο χώρους. Ο ένας περιέχει αέριο σε θερμοκρασία T και ο άλλος είναι κενός. Κάποια στιγμή η μεμβράνη σπάει και το αέριο εκτονώνεται και καταλαμβάνει αστραπιαία τον όγκο ολόκληρου του δοχείου (σχ. 2.31). Η διαδικασία εκτόνωσης είναι πολύ βίαιη και με κανένα τρόπο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί αντιστρεπτή. Θα υπολογίσουμε τη μεταβολή της εντροπίας του αερίου.



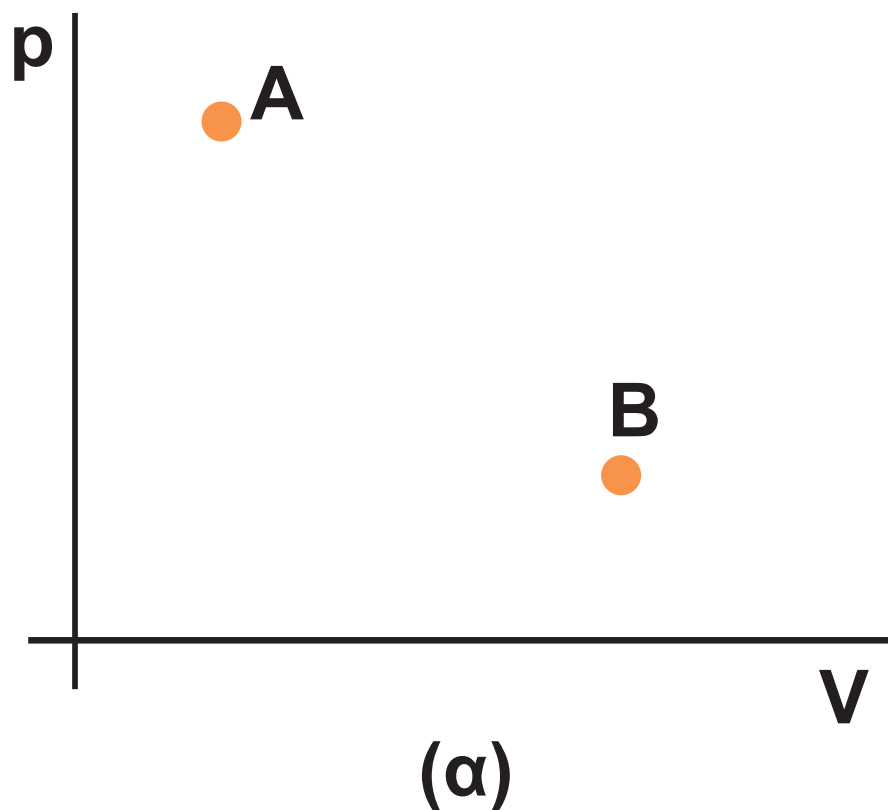
Σχ. 2.31 Ελεύθερη εκτόνωση αερίου. Όταν διαρραγεί η μεμβράνη η οποία περιορίζει το αέριο, το αέριο εκτονώνεται ελεύθερα με μη αντιστρεπτό τρόπο και καταλαμβάνει όλο τον όγκο του δοχείου.

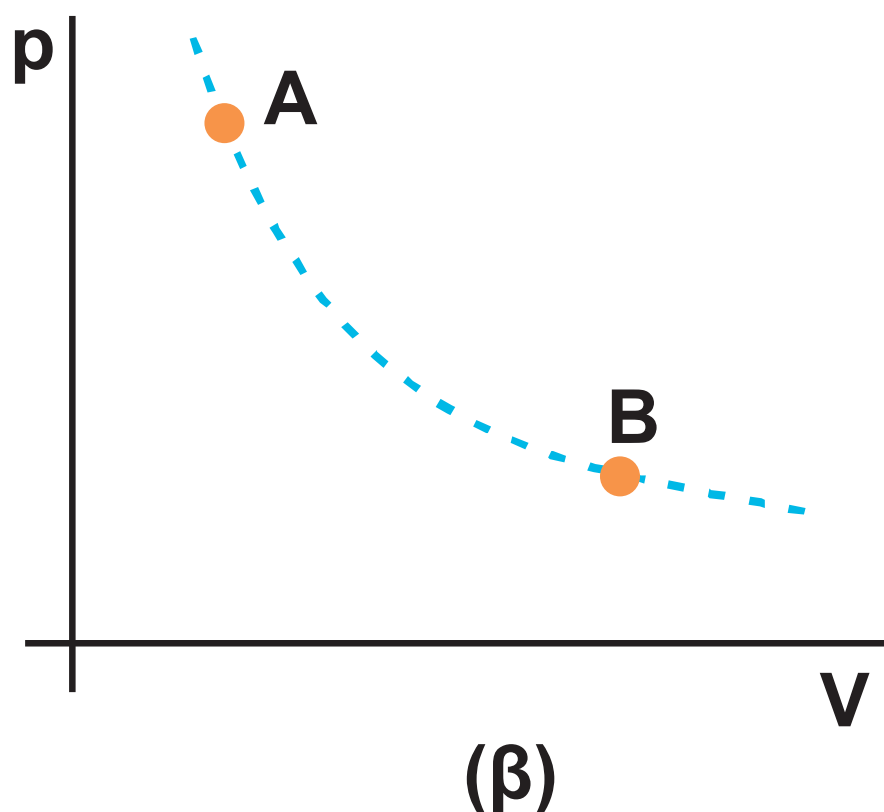
Μη βιαστείτε να πείτε ότι, αφού το αέριο δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον, σύμφωνα με τη (2.26), θα είναι $\Delta S = 0$. Η (2.26) ισχύει μόνο για αντιστρεπτές μεταβολές.

Αφού η μεταβολή είναι μη αντιστρεπτή δεν μπορεί να παρασταθεί γραφικά. Γραφικά μπορούν να απεικονισθούν μόνο η αρχική και τελική κατάσταση Α και Β του αερίου, που είναι καταστάσεις ισορροπίας (σχ. 2.32α). Το έργο που παράγει το αέριο για να καταλάβει τον κενό χώρο είναι μηδενικό και, όπως είπαμε, τα τοιχώματα του δοχείου δεν επιτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας.

Από τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο ($Q = \Delta U + W$) προκύπτει $\Delta U = 0$. Η εσωτερική ενέργεια του

αερίου εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική θερμοκρασία και, αφού η εσωτερική ενέργεια δε μεταβάλλεται, η τελική θερμοκρασία του αερίου είναι ίση με την αρχική T . Επειδή $T_A = T_B = T$ η αρχική κατάσταση (A) και η τελική κατάσταση (B), βρίσκονται πάνω στην ίδια ισόθερμη καμπύλη (σχ. 2.32β).





Σχ. 2.32 Η μεταβολή κατά την ελεύθερη εκτόνωση είναι μη αντιστρεπτή. Γραφικά μπορούν να παρασταθούν μόνο η αρχική και τελική κατάσταση του αερίου A και B. Επειδή κατά την ελεύθερη εκτόνωση η αρχική θερμοκρασία του αερίου είναι ίση με την τελική, η αρχική και η τελική κατάσταση του αερίου βρίσκονται πάνω στην ίδια ισόθερμη.

Για να υπολογίσουμε τη μεταβολή της εντροπίας θα εκμεταλλευτούμε το ότι αυτή εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση του συστήματος. Μια αντιστρεπτή διαδικασία που έχει τα ίδια άκρα A και B είναι η ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή από την κατάσταση A στη B.

$$\Delta S_{AB} = \Delta S_{AB}^{\text{ισόθερμη}} = nR \ln \frac{V_B}{V_A}$$

Παρατηρούμε ότι, επειδή $V_B > V_A$, η εντροπία του αερίου αυξάνεται ($\Delta S > 0$). Το αποτέλεσμα μπορούσαμε να το προβλέψουμε, αφού στις πραγματικές (μη αντιστρεπτές) μεταβολές η εντροπία ενός απομονωμένου συστήματος αυξάνεται μέχρις ότου το σύστημα έρθει σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας.

ΣΥΝΟΨΗ

Οι ποσότητες που είναι ικανές για την περιγραφή της κατάστασης θερμοδυναμικού συστήματος αποτελούν τις ανεξάρτητες θερμοδυναμικές μεταβλητές του συστήματος.

Μια ποσότητα αερίου βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας όταν η πίεση, η πυκνότητα, και η θερμοκρασία του, έχουν την ίδια τιμή σε όλη την έκτασή του.

Μια κατάσταση ισορροπίας παριστάνεται γραφικά με ένα σημείο. Αντιστρεπτή ονομάζεται η μεταβολή στην οποία υπάρχει η δυνατότητα επαναφοράς του συστήματος

και του περιβάλλοντος στην αρχική τους κατάσταση. Οι πραγματικές μεταβολές είναι μη αντιστρεπτές.

Η μεταβολή στην οποία το σύστημα μεταβαίνει από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική κατάσταση μέσω διαδοχικών καταστάσεων που μπορούν να θεωρηθούν καταστάσεις ισορροπίας είναι αντιστρεπτή. Σε μια τέτοια μεταβολή μπορεί να πραγματοποιηθεί και η αντίστροφη πορεία.

Μια αντιστρεπτή μεταβολή παριστάνεται γραφικά με μια συνεχή γραμμή. Οι μη αντιστρεπτές μεταβολές δεν μπορούν να παρασταθούν γραφικά.

Το έργο του αερίου για μια πολύ μικρή μεταβολή του όγκου του είναι $\Delta W = p\Delta V$. Είναι θετικό αν το αέριο εκτονώνεται και αρνητικό αν συμπιέζεται. Το έργο ενός αερίου σε μια αντιστρεπτή μεταβολή είναι ίσο με το εμβαδόν της επιφάνειας από τη γραμμή του διαγράμματος μέχρι τον άξονα V , στο διάγραμμα p - V .

Θερμότητα ονομάζεται η μορφή της ενέργειας που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας των δύο σωμάτων.

Κάθε σώμα εμπεριέχει ενέργεια, που είναι το άθροισμα των ενεργειών των σωματιδίων που το απαρτίζουν ως αποτέλεσμα της

σχετικής τους κίνησης ως προς το κέντρο μάζας του σώματος και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Αυτή την ενέργεια την ονομάζουμε εσωτερική ενέργεια.

Η εσωτερική ενέργεια ιδανικού αερίου είναι $U = \frac{3}{2} nRT$.

Η μεταβολή στην εσωτερική ενέργεια ενός θερμοδυναμικού συστήματος εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική κατάσταση του συστήματος.

Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος:
Το ποσό θερμότητας που απορροφά ή αποβάλλει ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα της μεταβολής

της εσωτερικής του ενέργειας και του έργου που παράγει ή δαπανά το σύστημα. $Q = \Delta U + W$.

Στην ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή είναι $W = nRT \ln \frac{V_T}{V_\alpha}$.

Στην ισόχωρη αντιστρεπτή μεταβολή $W = 0$.

Στην ισοβαρή αντιστρεπτή μεταβολή $W = p(V_T - V_\alpha)$.

Αδιαβατική ονομάζουμε εκείνη τη μεταβολή κατά την οποία δε συντελείται μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον προς το σύστημα ή αντίστροφα. Στην αδιαβατική μεταβολή $pV^\gamma = \text{σταθ.}$

Το έργο στην αδιαβατική αντιστρεπτή μεταβολή είναι

$$W = \frac{p_T V_T - p_\alpha V_\alpha}{1 - \gamma}.$$

Κυκλική ονομάζουμε τη μεταβολή κατά την οποία το σύστημα, μετά από μια διεργασία, επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση.

Το έργο σε μια κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή είναι ίσο με το εμβαδόν που ορίζεται από τη γραμμή του διαγράμματος, στο διάγραμμα p - V .

Το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να μεταβληθεί η θερμοκρασία μιας ποσότητας αερίου κατά ΔT είναι $Q = n C \Delta T$.

Η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα με σταθερό όγκο και η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα με σταθερή πίεση συνδέονται με τη σχέση $C_p = C_v + R$.

Οι γραμμομοριακές ειδικές θερμότητες C_p και C_v για ένα αέριο έχουν σταθερό λόγο.

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

Η μεταβολή στην εσωτερική ενέργεια ενός αερίου δίνεται από τη σχέση $\Delta U = nC_v\Delta T$.

Οι θερμικές μηχανές υποβάλλουν ένα αέριο σε κυκλική μεταβολή κατά τη διάρκεια της οποίας
1) Η μηχανή απορροφά θερμότητα

(Q_h) από μια δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας T_h 2) Η μηχανή παράγει έργο 3) Η μηχανή αποβάλλει θερμότητα (Q_c) σε μια δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας T_c . Η απόδοση μιας θερμικής μηχανής είναι $e = \frac{W}{Q_h}$ ή $e = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h}$.

Δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος: Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή που να μετατρέπει εξ ολοκλήρου τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο ή να κατασκευαστεί μηχανή που να μεταφέρει θερμότητα από ένα ψυχρό σώμα σε ένα θερμότερο χωρίς να δαπανάται ενέργεια για τη λειτουργία της.

Ο Carnot περιέγραψε μια ιδανική κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή,

που ονομάστηκε κύκλος Carnot, και απέδειξε ότι μια θερμική μηχανή που θα ακολουθούσε αυτόν τον αντιστρεπτό κύκλο θα είχε τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση.

Η μηχανή του Carnot ακολουθεί τον εξής αντιστρεπτό κύκλο:
1) ισόθερμη εκτόνωση 2) αδιαβατική εκτόνωση 3) ισόθερμη συμπίεση 4) αδιαβατική συμπίεση.

Η απόδοση της μηχανής Carnot είναι $e_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$.

Η μεταβολή της εντροπίας κατά τη διάρκεια μιας πολύ μικρής αντιστρεπτής διεργασίας ορίζεται ως το πηλίκο του ποσού θερμότητας που απορρόφησε ή απέβαλε το

σύστημα προς τη θερμοκρασία του συστήματος. $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$.

Η μεταβολή της εντροπίας ενός συστήματος εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάστασή του.

Κατά τη διάρκεια πραγματικών μεταβολών η εντροπία ενός μονωμένου συστήματος πάντοτε αυξάνεται μέχρι να επέλθει ισορροπία, οπότε η εντροπία αποκτά τη μέγιστη τιμή της.

Η αύξηση της εντροπίας ενός συστήματος οδηγεί στην ελάττωση της ικανότητας του συστήματος να παράγει ωφέλιμο έργο.

Η εντροπία συνδέεται μικροσκο-

πικά με την αταξία που επικρατεί στα δομικά στοιχεία του συστήματος. Αύξηση της αταξίας συνεπάγεται αύξηση της εντροπίας του συστήματος.

Περιπτώσεις υπολογισμού μεταβολής της εντροπίας

Στην αδιαβατική αντιστρεπτή μεταβολή $\Delta S = 0$

Στην ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή $\Delta S = \frac{Q}{T}$ ή $\Delta S = nR \ln \frac{V_B}{V_A}$.

Στην κυκλική μεταβολή $\Delta S_{ολ} = 0$

Στην ελεύθερη εκτόνωση
 $\Delta S = nR \ln \frac{V_B}{V_A}$.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

1. Θερμότητα και έργο

Πάρτε ένα λάστιχο (από αυτά που χρησιμοποιούμε για να κλείνουμε μικρά δέματα) και τεντώστε το μπροστά στο πάνω χείλος σας. Θα διαπιστώσετε ότι είναι λίγο θερμότερο από το περιβάλλον. Κρατήστε το έτσι για λίγο και μετά αφήστε το να ξαναπάρει το αρχικό του μήκος. Θα δείτε ότι τώρα φαίνεται λίγο πιο ψυχρό από το περιβάλλον. Πώς εξηγείται αυτό;

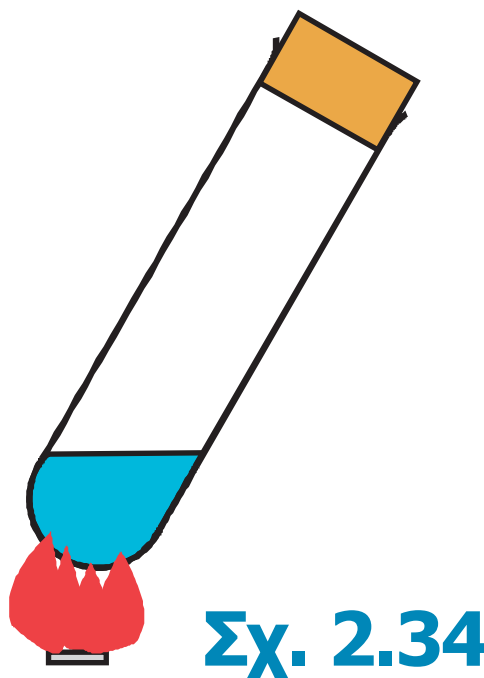


Σχ. 2.33

2. Η μετατροπή της θερμότητας σε έργο

Σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα ρίξτε λίγο νερό και στη συνέχεια κλείστε τον με ένα φελλό. Τοποθετήστε τον όρθιο, με το κλειστό του άκρο προς τα κάτω, στη σιγανή φωτιά ενός καμινέτου. Σε λίγο το νερό θα αρχίσει να βράζει και αν περιμένετε λίγο ο φελλός θα εκτιναχτεί. Περιγράψτε τις ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν.

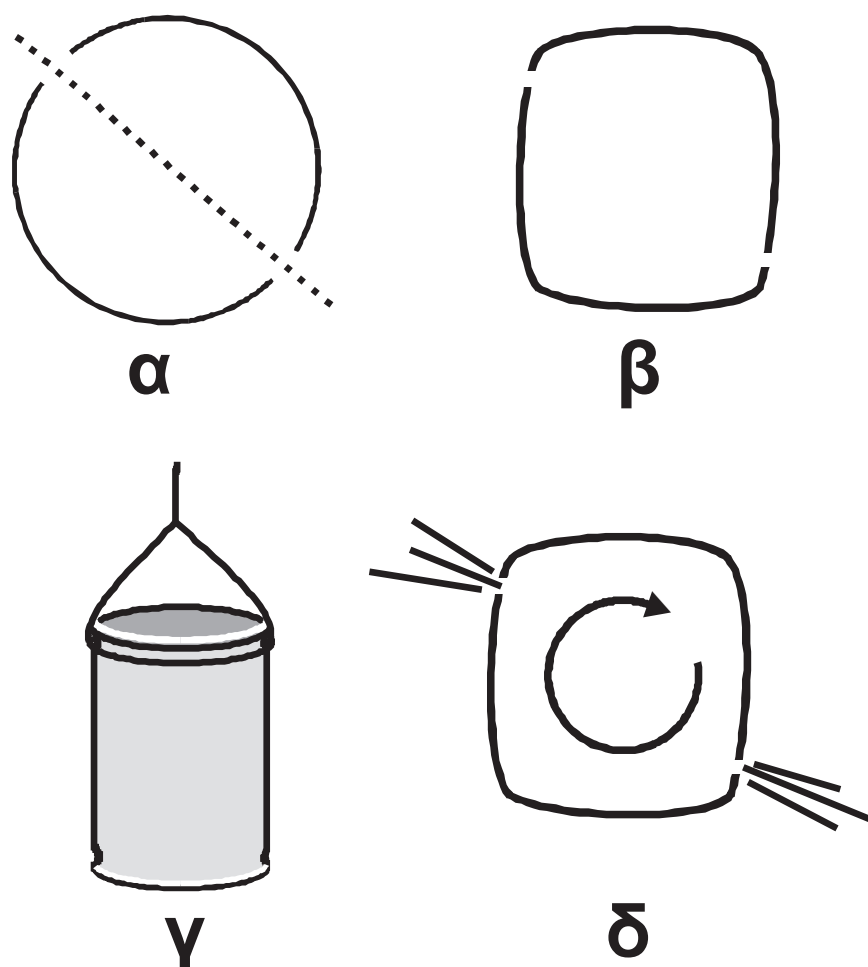
Προσοχή: ο σωλήνας δεν πρέπει να σημαδεύει εσάς ή κάποιον άλλο.



Σχ. 2.34

3. Κατασκευάστε έναν ατμοσρό-βιλο

Θα χρησιμοποιήσετε ένα κλειστό μεταλλικό κουτάκι από αναψυκτικό. Χωρίς να ανοίξετε το κουτάκι ανοίξτε με ένα καρφί δύο τρύπες σε αντιδιαμετρικά σημεία της κυλινδρικής επιφάνειας, που βρίσκονται στο ίδιο ύψος και αδειάστε το περιεχόμενο (σχ. 2.35α).



Σχ. 2.35 (α) Τομή του κυλινδρικού δοχείου με τις τρύπες. (β) Τομή του δοχείου μετά την παραμόρφωση. Προσέξτε πού βρίσκονται οι τρύπες. (γ) Το δοχείο κρέμεται όρθιο, δεμένο με ένα σκοινί. (δ) Ο ατμός φεύγει από τις τρύπες και το δοχείο στρέφεται.

Πιέστε με τα χέρια την κυρτή επιφάνεια ώστε το κουτί να αποκτήσει τέσσερις γωνίες. Πρέπει να πιέσετε το κουτάκι με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε τρύπα να βρίσκεται κοντά σε κάποια γωνία (σχ. 2.35β). Βάλτε από τις τρύπες που ανοίξατε περίπου ένα δάχτυλο νερό. Δέστε το κουτάκι από το επάνω μέρος του με σκοινί ώστε να μπορεί να στρέφεται γύρω από τον άξονά του (σχ. 2.35γ). Κρεμάστε το από κάπου και τοποθετήστε ακριβώς από κάτω του ένα γκαζάκι με σιγανή φωτιά.

Όταν το νερό αρχίσει να βράζει, ο ατμός θα αρχίσει να φεύγει με ταχύτητα από τις τρύπες και το δοχείο να στρέφεται.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

Εντροπία

2.33 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Η σχέση $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ δίνει τη μεταβολή της εντροπίας μόνο στις πολύ μικρές αντιστρεπτές διεργασίες.
- β) Η μεταβολή της εντροπίας ενός θερμοδυναμικού συστήματος εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση του συστήματος και όχι από τον τρόπο που έγινε η μεταβολή.
- γ) Στη διάρκεια μιας πραγματικής (μη αντιστρεπτής) διεργασίας η εντροπία ενός

μονωμένου θερμοδυναμικού συστήματος μειώνεται.

δ) Σε ένα μονωμένο σύστημα σε ισορροπία η εντροπία έχει τη μέγιστη τιμή της.

2.34 Ένα θερμοδυναμικό σύστημα μεταβαίνει από την κατάσταση A στην κατάσταση B. Η εντροπία του συστήματος στην κατάσταση B είναι μεγαλύτερη από την εντροπία του στην κατάσταση A ($S_B > S_A$).

Επιλέξτε τις σωστές απαντήσεις στα ερωτήματα A, B, Γ.

A. Η αταξία των δομικών στοιχείων του συστήματος είναι

α) μεγαλύτερη στην κατάσταση B,

β) μικρότερη στην κατάσταση B,

- γ) δεν έχουμε επαρκή στοιχεία για να απαντήσουμε.
- Β. Η ικανότητα του συστήματος να παράγει ωφέλιμο έργο**
- α) αυξήθηκε με τη μετάβαση του συστήματος στην κατάσταση Β,
 - β) μειώθηκε,
 - γ) δεν έχουμε επαρκή στοιχεία για να απαντήσουμε.
- Γ. Το σύστημα κατά τη διάρκεια της μεταβολής**
- α) απορρόφησε θερμότητα,
 - β) απέβαλε θερμότητα στο περιβάλλον,
 - γ) δεν έχουμε επαρκή στοιχεία για να απαντήσουμε.

2.35 Ένα βλήμα σφηνώνεται σε τοίχο.

α) Η κινητική ενέργεια του βλήματος μετατράπηκε σε δυναμική.

β) Μετά την κρούση η κινητική ενέργεια του βλήματος μηδενίστηκε. Η εσωτερική ενέργεια του βλήματος και της περιοχής του τοίχου όπου σφηνώθηκε αυξήθηκε.

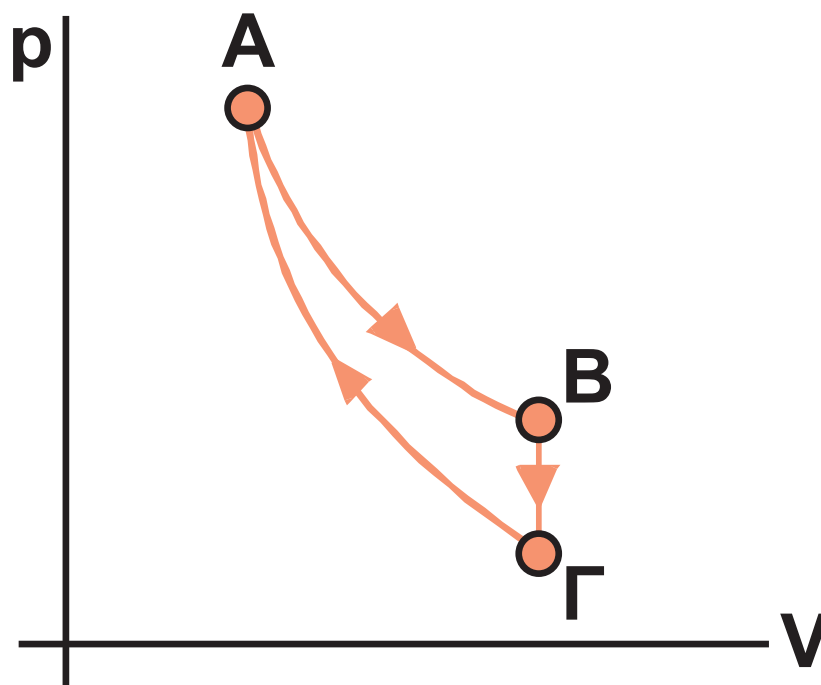
γ) Η εντροπία του συστήματος βλήμα - τοίχος μειώθηκε.

δ) Η ικανότητα του συστήματος για παραγωγή ωφέλιμου έργου μειώθηκε.

Ποιες από τις προηγούμενες προτάσεις είναι σωστές;

2.36 Αν βάλουμε ένα ποτήρι νερό στην κατάψυξη, το νερό θα παγώσει. Η αταξία των μορίων του νερού σ' αυτή την κατάσταση (πάγος) έχει μειωθεί σε σχέση με εκείνη που υπήρχε όταν το νερό βρισκόταν στην υγρή κατάσταση. Επομένως η εντροπία του νερού μειώθηκε. Μήπως αυτή η περίπτωση αποτελεί εξαίρεση στην γενικότερη τάση να αυξάνεται η εντροπία; Δικαιολογήστε την άποψή σας.

2.37 Στο σχήμα 2.40 παριστάνεται η κυκλική μεταβολή που υφίσταται ορισμένη ποσότητα αερίου. Η μεταβολή AB είναι ισόθερμη, η BΓ ισόχωρη και η ΓΑ αδιαβατική. Κατά τη μεταβολή BΓ, η εντροπία του αερίου α) αυξάνεται; β) μειώνεται; γ) παραμένει σταθερή; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.



Σχ. 2.40

2.38 Να αντιστοιχίσετε τα μεγέθη που βρίσκονται στην αριστερή στήλη με τις μονάδες μέτρησης στη δεξιά στήλη

1) W

2) S

3) U

4) p

5) V

α) J

β) m^3

γ) N

δ) N / m^2

ε) J / K

2.39 Να αποδοθεί ο κύκλος Carnot σε διάγραμμα με άξονες την εντροπία και την απόλυτη θερμοκρασία του αερίου (S-T).

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Εντροπία

2.55 Ποσότητα αερίου καταλαμβάνει όγκο 4 L, με πίεση 2 atm, και θερμοκρασία 400 K. Το αέριο ψύχεται με σταθερό όγκο μέχρι η πίεσή του να γίνει 0,8 atm και στη συνέχεια θερμαίνεται με σταθερή πίεση μέχρι ο όγκος του να γίνει 10 L.

- α)** Να αποδώσετε τις μεταβολές αυτές σε διάγραμμα p - V .
- β)** Να υπολογίσετε την τελική θερμοκρασία του αερίου.
- γ)** Να υπολογίσετε τη μεταβολή της εντροπίας του.

Δίνονται $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$ και $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$,

$$\ln 2,5 = 0,9163.$$

$$[\text{Απ: } 400 \text{ K}, \Delta S = 1,86 \text{ J / K}]$$

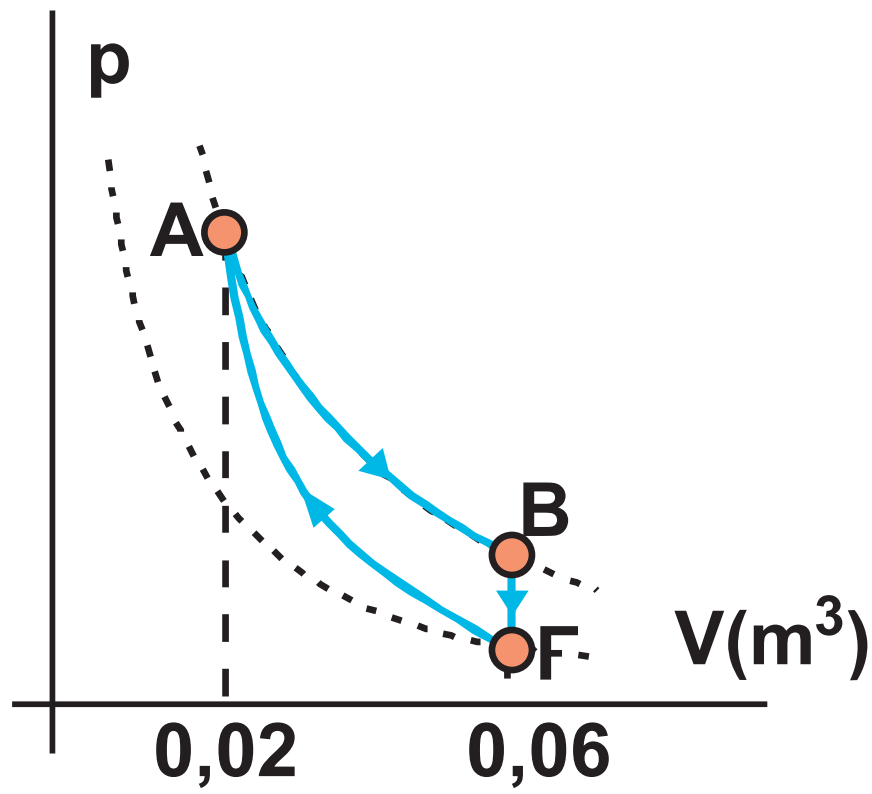
2.56 Ποσότητα αερίου $n = 0,2 \text{ mol}$ υφίσταται την κυκλική μεταβολή του σχήματος 2.43, όπου AB ισόθερμη εκτόνωση, BΓ ισόχωρη ψύξη, ΓΑ αδιαβατική συμπίεση. Να υπολογιστεί η μεταβολή της εντροπίας του αερίου στις επιμέρους μεταβολές AB, BΓ και ΓΑ.

$$\text{Δίνεται } R = 8,314 \text{ J / (mol K)},$$

$$\ln 3 = 1,0986.$$

$$[\text{Απ: } \Delta S_{AB} = 1,83 \text{ J / K},$$

$$\Delta S_{B\Gamma} = -1,83 \text{ J / K}, \Delta S_{\Gamma A} = 0]$$



$\Sigma\chi$. 2.43

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

2.57 Ποσότητα αερίου βρίσκεται μέσα σε κύλινδρο και καταλαμβάνει όγκο V . Το αέριο εκτονώνεται μέχρι να διπλασιαστεί ο όγκος του. Η εκτόνωση του αερίου μπορεί να γίνει με ισόθερμη ή με αδιαβατική ή με ισοβαρή μεταβολή.

- α) Να παραστήσετε γραφικά σε διάγραμμα p - V τις τρεις μεταβολές που μπορούν να οδηγήσουν το αέριο από την αρχική του κατάσταση στην τελική.**
- β) Σε ποια από τις τρεις μεταβολές: i) Το αέριο παράγει περισσότερο έργο; ii) Το αέριο απορροφά το μικρότερο ποσό θερμότητας;**

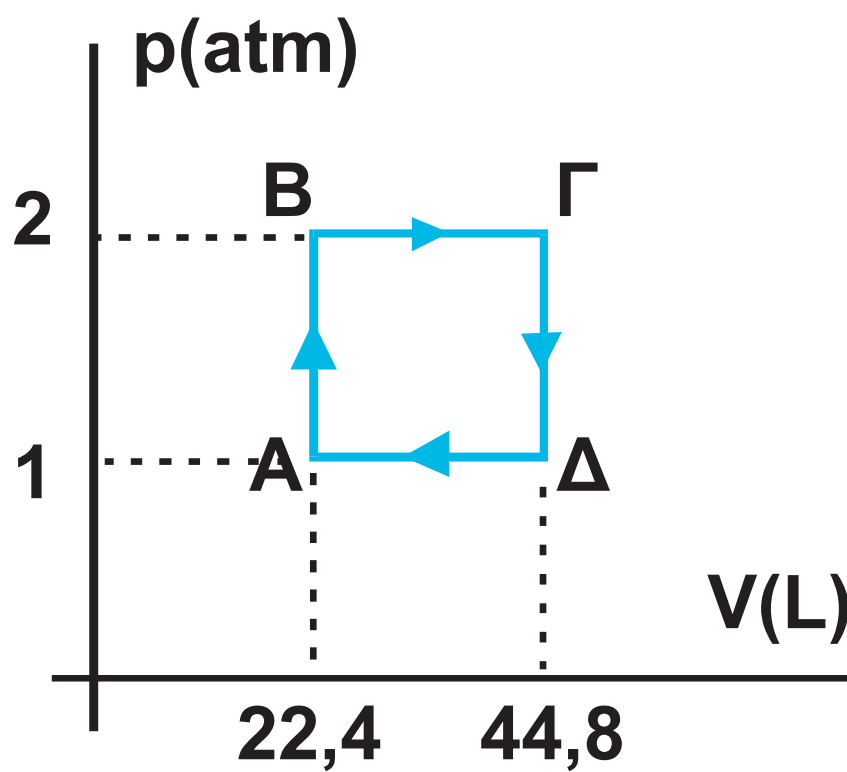
2.58 Το σχήμα 2.44 δείχνει τη γραφική παράσταση της σχέσης $p = f(V)$, όπου p , V η πίεση και ο όγκος ενός mol ιδανικού αερίου. Να γίνει για την ίδια κυκλική μεταβολή η γραφική παράσταση των σχέσεων $p = f(T)$ και $V = f(T)$, όπου T η απόλυτη θερμοκρασία, και να υπολογιστεί το έργο που παράγεται από το αέριο κατά την κυκλική μεταβολή ΑΒΓΔ.

Δίνονται

$$1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2,$$

$$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3.$$

$$[\text{Απ: } 2269 \text{ J}]$$



$\Sigma\chi$. 2.44

2.59 Κυλινδρικό δοχείο έχει τον άξονά του κατακόρυφο και κλείνεται, στο επάνω μέρος του, με έμβολο βάρους w και εμβαδού A , έτσι ώστε το αέριο που περιέχει να έχει όγκο V . Το αέριο θερμαίνεται έτσι ώστε η θερμοκρασία του, από θ , να γίνει θ' . Να υπολογιστεί το έργο που παράγεται από το αέριο. Η θέρμανση γίνεται σε χώρο όπου η ατμοσφαιρική πίεση είναι $p_{\alpha\tau}$.

$$[\text{Απ: } W = V \left(p_{\alpha\tau} + \frac{w}{A} \right) \cdot \left(\frac{\theta' - \theta}{273 + \theta} \right)]$$

2.60 Κυλινδρικό δοχείο με αδιαβατικά τοιχώματα έχει τον άξονά του κατακόρυφο και κλείνεται με έμβολο πάνω στο οποίο

βρίσκονται διάφορα σταθμά.
Στο δοχείο περιέχεται $V_1 = 1 \text{ m}^3$
υδρογόνου, σε θερμοκρασία
 $\theta_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ και πίεση
 $p_1 = 125 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Αφαιρώ-
ντας σταθμά κάνουμε την πίε-
ση ίση με $p_2 = 10^5 \text{ N/m}^2$ (ατμο-
σφαιρική πίεση).

Να υπολογιστούν:

α) Ο όγκος και η θερμοκρασία
του αερίου στην τελική κατά-
σταση.

β) Το έργο που παράχθηκε
κατά την εκτόνωσή του.

Θεωρήστε κατά προσέγγιση
 $\gamma = 3/2$.

[Απ: α) 25 m^3 , $T = 60 \text{ K}$,

β) $W = 2 \times 10^7 \text{ J}$]

2.61 Μια ποσότητα ιδανικού αερίου που αποτελείται από $N = 1,5 \times 10^{24}$ μόρια, βρίσκεται σε θερμοκρασία $\theta_A = 27^\circ\text{C}$. Θερμαίνουμε το αέριο μέχρι η θερμοκρασία του να γίνει $\theta_B = 127^\circ\text{C}$ i) με σταθερό όγκο και ii) με σταθερή πίεση. Να υπολογιστούν σε κάθε περίπτωση:

α) Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

β) Το έργο που παράγει το αέριο.

γ) Η θερμότητα που προσφέρουμε στο αέριο.

Δίνονται: $R = 8,314 \text{ J / (mol K)}$, $N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ μόρια/mol}$ και

$$C_V = \frac{3}{2} R.$$

[Απ: i) 3105,8 J, 0, 3105,8 J
ii) 3105,8 J, 2070,6 J, 5176,4 J]

2.62 Η θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής σε μια μηχανή Carnot είναι $\theta_1 = 127\text{ }^{\circ}\text{C}$ και της ψυχρής $\theta_2 = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

α) Να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής.

β) Αν η μηχανή αποδίδει ισχύ $P = 10\text{ HP}$ να υπολογιστεί το ποσό της θερμότητας που απορροφά από τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας σε χρόνο $t = 1\text{ h}$. Δίνεται $1\text{ HP} = 745,7\text{ W}$.

[Απ: 0,25, 29,828 kWh]

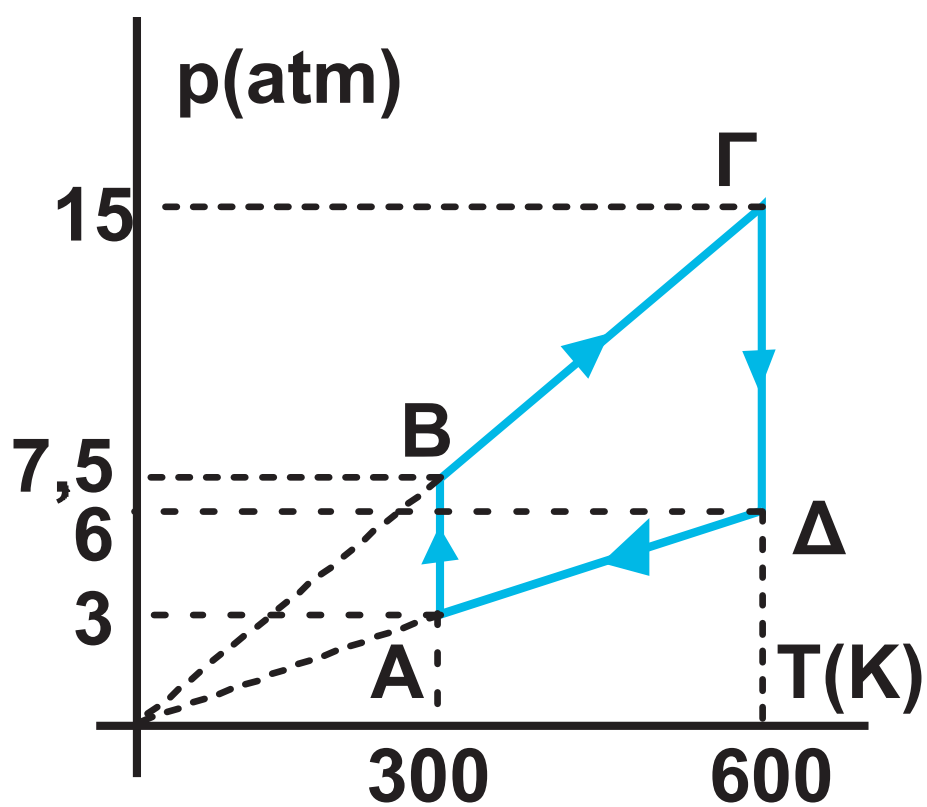
2.63 Ιδανική θερμική μηχανή λειτουργεί με τον αντιστρεπτό κύκλο του σχήματος 2.45.

α) Να παρασταθεί γραφικά η κυκλική μεταβολή σε άξονες V - T και p - V .

β) Να υπολογιστεί το έργο που παράγει η μηχανή στη διάρκεια ενός κύκλου.

γ) Να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής.

Δίνονται: η ποσότητα του αερίου $n = 0,975 \text{ mol}$, $C_V = 3R/2$,
 $R = 8,314 \text{ J / (mol K)} = 0,082$
 L atm / (mol K) , $\ln 2,5 = 0,9163$.
[Απ: β) 2228,3 J, γ) 0,275]



$\Sigma\chi$. 2.45

2.64 Ένα ιδανικό αέριο εκτελεί την κυκλική μεταβολή ΑΒΓΔΑ όπου ΑΒ ισόθερμη εκτόνωση, ΒΓ ισόχωρη ψύξη, ΓΔ ισοβαρή ψύξη, ΔΑ ισόχωρη θέρμανση. Αν είναι $p_A = 6 \text{ atm}$, $V_A = 22,4 \text{ L}$, $T_A = 546 \text{ K}$, $V_B = 3V_A$, $T_\Gamma = 273 \text{ K}$.

- α) Να αποδοθεί γραφικά η παραπάνω μεταβολή σε άξονες p - V , p - T , V - T .**
- β) Να υπολογιστεί το έργο που παράγεται από το αέριο κατά τη διάρκεια αυτής της μεταβολής.**

Δίνονται $\ln 3 = 1,1$

$1 \text{ L atm} = 101 \text{ J}$.

[Απ: 10407 J]

2.65 Ένα mol ιδανικού αερίου φέρεται από την κατάσταση A (p_o , V_o) στην κατάσταση B ($2p_o$, $2V_o$) με δυο τρόπους:

- α) Με μια ισόθερμη και μια ισοβαρή μεταβολή.**
- β) Με μια ισόθερμη και με μια ισόχωρη μεταβολή.**

Να υπολογιστούν τα Q και W σε κάθε περίπτωση. Δίνονται τα p_o , V_o , $\ln 2 = 0,6931$, $C_V = 3R/2$.

[Απ: α) $6,8p_oV_o$, $2,3p_oV_o$ β) $5,2p_oV_o$, $0,7p_oV_o$]

**2.66 Η κυκλική μεταβολή του ιδανικού αερίου μιας θερμικής μηχανής αποτελείται από: α) μια ισόχωρη θέρμανση μέχρι να τριπλασιαστεί η πίεσή του, β) μια ισοβαρή εκτόνωση μέχρι να τριπλασιαστεί ο όγκος του, γ) μια ισόχωρη ψύξη μέχρι να αποκτήσει την αρχική πίεση και, δ) μια ισοβαρή συμπίεση μέχρι την αρχική του κατάσταση. Να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής. Δίνεται $\gamma = 5/3$.
[Απ: 2/9]**

2.67 Ένα mol ιδανικού αερίου, που βρίσκεται σε s.t.p θερμαίνεται με σταθερή πίεση μέχρι να διπλασιαστεί ο όγκος του και μετά ψύχεται με σταθερό όγκο μέχρι να υποδιπλασιαστεί η πίεσή του. Να υπολογιστούν:

- α) Το έργο που παράχθηκε.**
- β) Η θερμότητα που ανταλλάχθηκε με το περιβάλλον.**
- γ) Η μεταβολή της εντροπίας του αερίου.**

**Δίνονται: $R = 8,314 \text{ J / (mol K)}$,
 $\ln 2 = 0,693$, $1 \text{ L atm} = 101,4 \text{ J}$.
[Απ : α) 2271 J β) 2271 J
γ) 5,76 J / K]**

2.68 Ένα mol ιδανικού αερίου, που βρίσκεται σε s.t.p. συμπιέζεται αδιαβατικά μέχρι η πίεσή του να γίνει 8 atm και μετά ψύχεται με σταθερό όγκο μέχρι η πίεσή του να γίνει 4 atm. Να υπολογιστούν για κάθε μεταβολή του αερίου και για τη συνολική μεταβολή του:

- α) Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας, του αερίου.**
- β) Η μεταβολή της εντροπίας του.**

Δίνονται: $R = 8,314 \text{ J / (mol K)}$ και $\ln 2 = 0,6931$. Θεωρήστε ότι για το αέριο $\gamma = 3/2$ και $C_V = 16,628 \text{ J / (mol K)}$.

[Απ: α) 4539,5 J, -4539,5 J, 0, β) 0, -11,52 J / K, -11,52 J / K]

2.69 Ιδανικό αέριο έχει όγκο

$V_A = 0,04 \text{ m}^3$, πίεση

$p_A = 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ και θερμο-

κρασία $T_A = 600 \text{ K}$. Το αέριο

εκτονώνεται ισόθερμα μέχρι

ο όγκος του να γίνει $V_B = 0,16$

m^3 , ύστερα ψύχεται με σταθερό

όγκο ώσπου να αποκτήσει την

κατάλληλη πίεση από όπου

μια αδιαβατική συμπίεση θα

το φέρει στην αρχική του κατά-

σταση. Να υπολογιστούν:

α) Η εσωτερική ενέργεια του

αερίου στην αρχική του κα-

τάσταση, καθώς και στο τέ-

λος της ισόθερμης και της

ισόχωρης μεταβολής.

β) Το έργο που παράγεται κατά

την κυκλική μεταβολή.

γ) Η μεταβολή της εντροπίας

στις επιμέρους μεταβολές.

Δίνονται: $R = 8,314 \text{ J / (mol K)}$,
 $\gamma = 5/3$,
 $\ln 4 = 1,386$ $(0,25)^{\gamma} = 0,0992$.
[Απ: 18000 J, 18000 J, 7200 J,
5832 J, 27,72 J / K, 0, -27,72 J / K]

2.70 Κυλινδρικό δοχείο, με αδιαβα-
τικά τοιχώματα, έχει τον άξονά
του κατακόρυφο, και κλείνεται
στο επάνω μέρος του με αδια-
βατικό έμβολο εμβαδού
 $A = 10 \text{ cm}^2$ και μάζας $m = 10 \text{ kg}$.
Ο κύλινδρος περιέχει ιδανικό
αέριο και βρίσκεται σε χώρο
όπου η εξωτερική πίεση είναι
 $p_{at} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Μέσω
μιας αντίστασης R που βρίσκε-
ται μέσα στο δοχείο το αέριο
θερμαίνεται αργά. Αν το ποσό
θερμότητας που προσφέρεται
μέσω της αντίστασης είναι

$Q = 50 \text{ J}$ να υπολογιστεί:

α) Η μετατόπιση του εμβόλου.

β) Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

Δίνονται: $g = 10 \text{ m/s}^2$, $C_V = 3R/2$.

[Απ: 0,1 m, 30 J]

2.71 Η κυκλική μεταβολή του ιδανικού αερίου μιας θερμικής μηχανής αποτελείται από μια ισόχωρη ψύξη AB, μια ισοβαρή ψύξη BΓ και τέλος τη μεταβολή ΓΑ, κατά τη διάρκεια της οποίας η πίεση και ο όγκος συνδέονται με τη σχέση $p = 600 + 400V$ (SI). Όλες οι μεταβολές θεωρούνται αντιστρεπτές. Αν στις καταστάσεις Α και Γ το αέριο έχει όγκο $V_A = 2 \text{ m}^3$ και $V_\Gamma = 1 \text{ m}^3$, αντίστοιχα,

α) Να υπολογιστεί το έργο που

- παράγεται σε έναν κύκλο.
- β) Να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής.
- γ) Να καθοριστεί αν αυξάνεται ή ελαττώνεται η εντροπία του αερίου για κάθε μια από τις επιμέρους μεταβολές.

Δίνεται: $C_V = \frac{3}{2} R$

[Απ: 200 J, 0,051]

2.72 Ποσότητα $n = 2/R$ mol ιδανικού αερίου υποβάλλεται σε κυκλική μεταβολή ΑΒΓ. Κατά τη διάρκεια της μεταβολής ΑΒ η πίεση και ο όγκος του αερίου συνδέονται με τη σχέση

$$p = -\frac{2}{3} \times 10^8 V + 6 \times 10^5 \text{ (SI)}.$$

Η μεταβολή ΒΓ είναι ισοβα-
ρής, και η ΓΑ είναι ισόχωρη.
Ο όγκος του αερίου στις κατα-
στάσεις Α και Β είναι
 $V_A = 6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ και
 $V_B = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, αντίστοιχα.
Να υπολογίσετε:

- α) το έργο που παράγει το αέ-
ριο κατά την κυκλική μετα-
βολή.
- β) τη θερμότητα που απορ-
ροφά ή αποβάλλει το αέριο
στη διάρκεια καθεμιάς από
τις επιμέρους μεταβολές.
- γ) τη μεταβολή της εντροπίας
του αερίου στις μεταβολές
ΑΒ και ΓΑ.

Δίνονται: $C_V = 3R / 2$,
 $\Delta S_{B\Gamma} = 3,5 \text{ J / K}$ και $\ln 2 = 0,7$.
[Απ: 300 J, -900 J, 3000 J,
-1800 J, -1,4 J / K, -2,1 J / K]

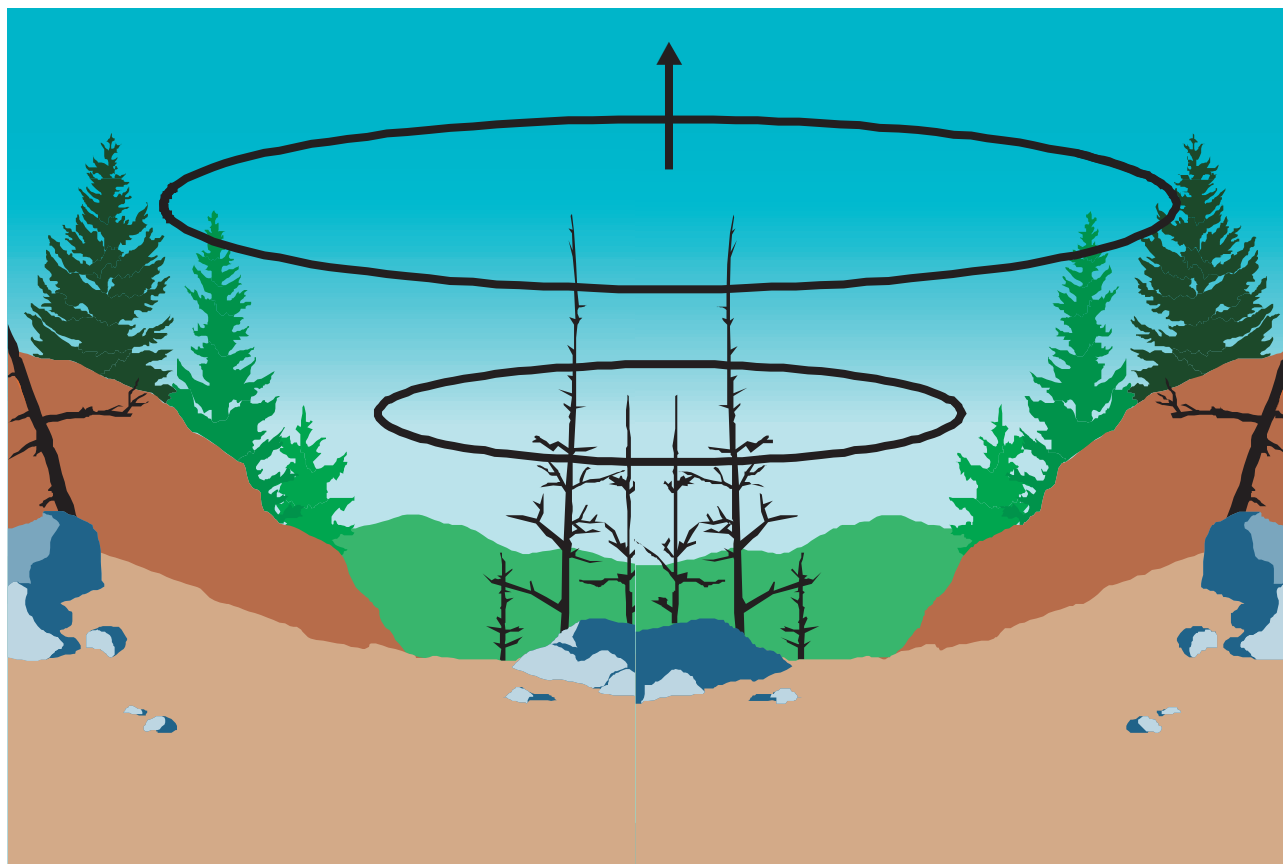
ΕΝΘΕΤΟ

ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ

Στις αδιαβατικές μεταβολές δε γίνεται ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο σύστημα και το περιβάλλον. Πρακτικά, για να θεωρηθεί αδιαβατική η μεταβολή κάποιου αερίου που περιέχεται σε δοχείο θα πρέπει ή το δοχείο να είναι μονωμένο ή η μεταβολή να πραγματοποιείται ταχύτατα ώστε το αέριο να μην προλάβει να ανταλλάξει θερμότητα με το περιβάλλον.

Αδιαβατικές μεταβολές συμβαίνουν και στον ατμοσφαιρικό αέρα, δημιουργώντας αυξομειώσεις στη θερμοκρασία του. Πρόκειται για ένα από τα

φαινόμενα που λαμβάνουν υπόψη τους οι μετεωρολόγοι όταν μελετούν τις μεταβολές στην ατμόσφαιρα.



Σχ. 2.46 Ποσότητα θερμού αέρα ανεβαίνοντας υφίσταται αδιαβατική εκτόνωση.

Ας θεωρήσουμε την ποσότητα θερμού αέρα έκτασης πολλών τετραγωνικών χιλιομέτρων που

βρίσκεται πάνω από μια κοιλάδα (σχ. 2.46). Η ποσότητα αυτή δεν περικλείεται από αδιαβατικά τοιχώματα αλλά, λόγω του μεγάλου όγκου της, παρά το γεγονός ότι τα περιφερειακά στρώματα αναμιγνύονται με αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας και πίεσης, το σύνολο της ποσότητας παραμένει ανεπηρέαστο από το περιβάλλον. Η συνολική ποσότητα, δηλαδή, συμπεριφέρεται σα να περικλείεται από σάκο με αδιαβατικά τοιχώματα.

Έστω ότι ο αέρας αυτός αρχίζει να ανεβαίνει. Αυτό μπορεί να συμβεί αν βρεθεί σε ψηλότερη θερμοκρασία από τα υπερκείμενα στρώματα οπότε η πυκνότητά του θα είναι μικρότερη από αυτή των υπερκείμενων στρωμάτων.

Η πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα

ελαττώνεται με το ύψος από την επιφάνεια της Γης. Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος της ποσότητας στην οποία αναφερόμαστε αυξάνεται και επειδή δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον, η εκτόνωση μπορεί να θεωρηθεί αδιαβατική. Σε μια αδιαβατική εκτόνωση η θερμοκρασία του αερίου μειώνεται.

Έχει διαπιστωθεί ότι όταν τέτοιες μάζες αέρα ανεβαίνουν κατά 1 km η θερμοκρασία τους ελαττώνεται κατά 10°C . Άρα, αν μια θερμή μάζα αέρα του θεσσαλικού κάμπου, θερμοκρασίας 30°C , ανέβει κατά 3 km, όσο είναι περίπου το ύψος του παρακείμενου Ολύμπου, στην κορυφή του θα έχει θερμοκρασία 0°C . Έτσι εξηγείται γιατί στα βουνά η θερμοκρασία είναι χαμηλή σε αντίθεση με τη θερμοκρασία στις πεδιάδες.



Εικ. 2.15 Οι κορυφές του Ολύμπου μένουν χιονισμένες συνήθως σ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.



ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ - ΧΡΗΣΙΜΑ ΜΕΓΕΘΗ

ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

Όνομα

Ταχύτητα του φωτός

Φορτίο ηλεκτρονίου (απόλυτη τιμή)

Βαρυτική σταθερά

Σταθερά Planck

Σταθερά Boltzmann

Σταθερά Avogadro

Σταθερά των αερίων

Μάζα ηλεκτρονίου

Μάζα νετρονίου

Μάζα πρωτονίου

Διηλεκτρική σταθερά του κενού

Σταθερά Coulomb

Μαγνητική διαπερατότητα του κενού

Σύμβολο Τιμή

c	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
e	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
G	$6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
k	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$
N_A	$6,022 \times 10^{23} \text{ μόρια/mol}$
R	$8,314 \text{ J / mol} \cdot \text{K}$
m_e	$9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
m_n	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
m_p	$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
ε_o	$8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2$
K_c	$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$
μ_o	$4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb / A} \cdot \text{m}$

ΑΛΛΕΣ ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

Όνομα

Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας

Κανονική ατμοσφαιρική πίεση

Απόλυτο μηδέν

Ηλεκτρονιοβόλτ

Ενέργεια ηρεμίας ηλεκτρονίου

Γραμμομοριακός όγκος ιδανικού
αερίου (s.t.p.)

Σύμβολο Τιμή

	4,186 J / cal
1 atm	$1,013 \times 10^5 \text{ P (N / m}^2\text{)}$
0 K	-273 °C
1 eV	$1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
mc^2	0,511 MeV
V_{mol}	22,4 L / mol

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ

A

αδιαβατική μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας το σύστημα δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον.

αδιαβατικό τοίχωμα: τοίχωμα που δεν επιτρέπει την ανταλλαγή θερμότητας.

ακτίνα Schwarzschild: η μέγιστη ακτίνα που πρέπει να έχει ένα ουράνιο σώμα μάζας M για να είναι μαύρη τρύπα.

ακτινοβολία Cerenkov: ορατή ακτινοβολία που προέρχεται από τις κρούσεις φορτισμένων σωματιδίων με τα άτομα.

αμοιβαία επαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε ένα κύκλωμα εξαιτίας της μεταβολής

του ρεύματος σε ένα άλλο κύκλωμα.

ανόρθωση εναλλασσόμενης τάσης: η μετατροπή της σε συνεχή τάση.

αντιστρεπτή μεταβολή: μεταβολή στην οποία υπάρχει δυνατότητα επαναφοράς του συστήματος και του περιβάλλοντος στην αρχική τους κατάσταση.

απόλυτη θερμοκρασία: η θερμοκρασία στην κλίμακα Kelvin. Το μηδέν της κλίμακας είναι το απόλυτο μηδέν.

απόλυτο μηδέν: η θερμοκρασία κάτω από την από την οποία δεν είναι δυνατό να φτάσουμε. Αντιστοιχεί στους $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ατμομηχανή: είδος θερμικής μηχανής. Σε αυτή το «μέσον» είναι το νερό, δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας

ο λέβητας όπου θερμαίνεται το νερό και δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας ο συμπυκνωτής όπου ψύχεται το νερό.

αυτεπαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε ένα κύκλωμα όταν μεταβάλλεται το ρεύμα που το διαρρέει.

B

βαρυτικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο όταν βρεθεί μια μάζα θα δεχθεί δύναμη.

βόρειο σέλας: φωτεινό φαινόμενο που εκδηλώνεται κοντά στο βόρειο πόλο της Γης και οφείλεται στις κρούσεις φορτισμένων σωματιδίων με τα άτομα του αέρα.

βρασμός: φαινόμενο κατά το οποίο ένα υγρό μεταβαίνει στην αέρια φάση από όλη τη μάζα του.

Γ

γαλβανόμετρο: όργανο που δείχνει αν περνάει ρεύμα.

γραμμική πυκνότητα φορτίου: το πηλίκο του φορτίου Δq που αντιστοιχεί σε μήκος Δl ενός αγωγού προς το μήκος αυτό.

Δ

διατηρητικό πεδίο: πεδίο στο οποίο η δύναμη που ασκεί δεν παράγει έργο κατά τη μετακίνηση του υποθέματος σε κλειστή τροχιά.

διαφορά δυναμικού (μεταξύ δύο σημείων βαρυτικού πεδίου): το πηλίκο του έργου που παράγει ή καταναλώνει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση μιας μάζας m από το ένα σημείο στο άλλο προς τη μάζα αυτή.

διαφορά δυναμικού (μεταξύ δύο σημείων ηλεκτρικού πεδίου): το πηλίκο του έργου που παράγει ή καταναλώνει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση φορτίου q από το ένα σημείο στο άλλο προς το φορτίο αυτό.

διηλεκτρική αντοχή: η τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πάνω από την οποία το διηλεκτρικό συμπεριφέρεται ως αγωγός.

διηλεκτρική σταθερά (διηλεκτρικού): ο λόγος της χωρητικότητας ενός πυκνωτή με το διηλεκτρικό προς τη χωρητικότητα του ίδιου πυκνωτή στο κενό.

διηλεκτρικό: σώμα στο οποίο δεν μπορούν να κινηθούν ηλεκτρικά φορτία, ο μονωτής.

δίοδος: συσκευή που επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων μόνο προς μία κατεύθυνση.

δύναμη Laplace: η δύναμη που δέχεται ρευματοφόρος αγωγός που βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο.

δύναμη Lorentz: η δύναμη που δέχεται ένα ηλεκτρικό φορτίο που κινείται σε μαγνητικό πεδίο.

δύναμη κεντρική: η δύναμη αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο μαζών ή δύο φορτίων που έχει τη διεύθυνση της ευθείας που ορίζεται από τα κέντρα μάζας ή τα κέντρα φορτίων αντίστοιχα.

δυναμικό βαρυτικού πεδίου: το σταθερό πηλίκο του έργου που παράγει η δύναμη του πεδίου κατά τη μετακίνηση μάζας m από ένα σημείο του πεδίου μέχρι το άπειρο προς τη μάζα αυτή.

δυναμικό ηλεκτρικού πεδίου: το σταθερό πηλίκο του έργου που παράγει η δύναμη του πεδίου κατά

τη μετακίνηση φορτίου q από ένα σημείο του πεδίου μέχρι το άπειρο προς το φορτίο αυτό.
δυναμό: γεννήτρια.

Ε

ειδική γραμμομοριακή θερμότητα υπό σταθερή πίεση (C_p): το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 mol αερίου, του οποίου η πίεση μένει σταθερή, για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1 °C.

ειδική γραμμομοριακή θερμότητα υπό σταθερό όγκο (C_v): το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 mol αερίου, του οποίου ο όγκος είναι σταθερός για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1 °C.

ειδική γραμμομοριακή θερμότητα: το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε στη μονάδα μάζας του υλικού για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ειδική θερμότητα: το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε σε 1 g του υλικού για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία του κατά $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

εκτόνωση ελεύθερη: η αύξηση του όγκου του αερίου που γίνεται χωρίς παραγωγή έργου, η ανεμπόδιστη αύξηση του όγκου ενός αερίου.

εναλλακτήρας: η γεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης.

εναλλασσόμενο ρεύμα: ρεύμα του οποίου η ένταση είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου.

ενεργός ένταση (εναλλασσόμενου ρεύματος): η ένταση ενός συνεχούς

ρεύματος που έχει τα ίδια θερμικά αποτελέσματα με το εναλλασσόμενο. ενεργός τάση (εναλλασσόμενης τάσης): η τιμή της συνεχούς τάσης που όταν εφαρμόζεται σε μια αντίσταση δίνει ρεύμα με ένταση ίση με την ενεργό τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί η εναλλασσόμενη τάση.

ενεργός ταχύτητα: η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των ταχυτήτων.

ένταση βαρυτικού πεδίου: το πηλίκο της δύναμης που δέχεται μάζα m σε ένα σημείο του πεδίου προς τη μάζα αυτή.

ένταση ηλεκτρικού πεδίου: το πηλίκο της δύναμης που δέχεται φορτίο q σε ένα σημείο του πεδίου προς το φορτίο αυτό. Η κατεύθυνσή της συμπίπτει με την κατεύθυνση

της δύναμης που ασκείται σε θετικό φορτίο.

ένταση μαγνητικού πεδίου: το πηλίκο της μέγιστης δύναμης που δέχεται από μαγνητικό πεδίο ένας αγωγός μήκους l , που διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , προς το γινόμενο Il .

εντροπία: μέγεθος που συνδέεται με την αταξία που επικρατεί στα δομικά συστατικά του συστήματος και με την ικανότητα του συστήματος να παράγει έργο.

εξαερίωση: η μετάβαση ενός σώματος από την υγρή στην αέρια φάση.

εξάτμιση: η εξαερίωση που γίνεται μόνο από την επιφάνεια του υγρού.

εξίσωση της τροχιάς: η συνάρτηση $y = f(x)$ των συντεταγμένων του σώματος.

επαγωγή: η εμφάνιση ηλεκτρεγερτικής δύναμης σε έναν αγωγό όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που περνάει από την επιφάνεια που ορίζει με το σχήμα του ή όταν διέρχεται μαγνητική ροή από την επιφάνεια που ορίζει με την κίνησή του.

επαγωγική σύζευξη δύο κυκλωμάτων: δύο κυκλώματα βρίσκονται σε επαγωγική σύζευξη όταν η μεταβολή του ρεύματος στο ένα δημιουργεί ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή στο άλλο.

επιλογέας ταχυτήτων: διάταξη που επιτρέπει να περάσουν μόνο φορτισμένα σωματίδια που έχουν ορισμένη ταχύτητα. Βασίζεται στο συνδυασμό μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου με τις δυναμικές γραμμές τους κάθετες μεταξύ τους.

επίπεδος πυκνωτής: πυκνωτής του οποίου οι οπλισμοί είναι παράλληλες επίπεδες μεταλλικές επιφάνειες.

επιφάνεια Gauss: μια κλειστή επιφάνεια που επιλέγουμε για να εφαρμόσουμε το νόμο του Gauss.

επιφανειακή πυκνότητα φορτίου: το πηλίκο του φορτίου Δq που αντιστοιχεί σε επιφάνεια ΔA προς την επιφάνεια αυτή.

εσωτερική ενέργεια: ενέργεια που εμπεριέχει ένα σώμα και είναι το άθροισμα των ενεργειών των σωματιδίων που το απαρτίζουν, ως αποτέλεσμα της σχετικής τους κίνησης ως προς το κέντρο μάζας του σώματος και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Z

ζώνες Van Allen: ζώνες που περιβάλλουν τη Γη στις οποίες παρατηρήθηκε μεγάλη πυκνότητα φορτισμένων σωματιδίων.

H

ηλεκτρική ροή από στοιχειώδη επιφάνεια ΔA : το γινόμενο του μέτρου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου επί το εμβαδόν της επιφάνειας ΔA επί το συνημίτονο της γωνίας ανάμεσα στην ένταση και την κάθετη στην επιφάνεια.

ηλεκτρικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο όταν βρεθεί ένα φορτίο θα δεχθεί δύναμη.

ηλεκτρονικό τηλεβόλο: τμήμα του καθοδικού σωλήνα που εξασφαλίζει την εκπομπή, επιτάχυνση και εστίαση των ηλεκτρονίων.

ηλεκτρονιοβόλτ: το έργο που παράγει η δύναμη του πεδίου όταν μετατοπίζεται το στοιχειώδες φορτίο μεταξύ δύο σημείων που έχουν διαφορά δυναμικού 1 V.
(1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ Joule).



θερμικά μονωμένο σύστημα: σύστημα που δεν αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του. Θερμικά μονωμένο αν δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον.

θερμική μηχανή: μηχανή που μετατρέπει τη θερμότητα σε μηχανικό έργο.

θερμοδυναμική ισορροπία: η κατάσταση στην οποία οι θερμοδυναμικές μεταβλητές του συστήματος παραμένουν σταθερές.

θερμοδυναμική μεταβλητή: μέγεθος που χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε ένα θερμοδυναμικό σύστημα.

θερμοδυναμική: η επιστήμη που εξετάζει τις μετατροπές της θερμότητας σε μηχανικό έργο.

θερμότητα: μορφή ενέργειας που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία.

I

ιδανικά αέρια: Μακροσκοπικά, τα αέρια που υπακούουν στην καταστατική εξίσωση, σε όλες τις συνθήκες. Από μικροσκοπική άποψη τα αέρια των οποίων τα μόρια είναι τέλειες σφαίρες, δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους παρά μόνο όταν συγκρούονται και οι συγκρούσεις

με τα τοιχώματα του δοχείου στο οποίο βρίσκονται είναι τελείως ελαστικές.

ισοβαρής μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας η πίεση του αερίου μένει σταθερή.

ισόθερμη μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας η θερμοκρασία του αερίου μένει σταθερή.

ισότοπα (άτομα): άτομα που έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό αλλά διαφορετικό μαζικό αριθμό - άτομα του ίδιου στοιχείου που έχουν διαφορετικό αριθμό νετρονίων, άρα διαφορετική μάζα.

ισόχωρη μεταβολή: μεταβολή στη διάρκεια της οποίας ο όγκος του αερίου μένει σταθερός.

K

κινητική θεωρία: θεωρία που διατυπώθηκε για να ερμηνευτεί η συμπεριφορά των αερίων. Βασική της παραδοχή ότι τα αέρια αποτελούνται από μεγάλο αριθμό σωματιδίων που κινούνται άτακτα.

κορεσμένοι ατμοί: Ατμοί που συνυπάρχουν σε ισορροπία με την υγρή φάση του σώματος.

κυκλική μεταβολή: κάθε μεταβολή στο τέλος της οποίας το αέριο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

κύκλος Carnot: Κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου που περιλαμβάνει ισόθερμη εκτόνωση, αδιαβατική εκτόνωση, ισόθερμη συμπίεση και αδιαβατική συμπίεση.

M

μαγνητική ροή από επιφάνεια ΔA :
το γινόμενο του μέτρου της έντασης του μαγνητικού πεδίου επί το εμβαδόν της επιφάνειας ΔA επί το συνημίτονο της γωνίας ανάμεσα στην ένταση και την κάθετη στην επιφάνεια.

μαγνητική φιάλη: μαγνητικό πεδίο που εγκλωβίζει φορτισμένα σωματίδια. Είναι ισχυρό στα άκρα και ασθενές στο μέσο.

μαγνητικό πεδίο: ο χώρος στον οποίο δέχονται δυνάμεις κινούμενα ηλεκτρικά φορτία ή ρευματοφόροι αγωγοί.

μακροσκοπική μελέτη: η μελέτη ενός συστήματος κατά τη διάρκεια της οποίας αδιαφορούμε για τους δομικούς του λίθους (άτομα, μόρια, κ.λπ.).

μαύρη τρύπα: ουράνιο σώμα για το οποίο η ταχύτητα διαφυγής ισούται με την ταχύτητα του φωτός-που δεσμεύει στο βαρυτικό του πεδίο και τα φωτόνια.

μέση ισχύς (εναλλασσόμενου ρεύματος): το πηλίκο της ενέργειας που μεταφέρει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε χρόνο μιας περιόδου προς το χρόνο αυτό.

μέση ταχύτητα μορίων: ο μέσος όρος των ταχυτήτων των μορίων.

μηχανή Carnot: Μια ιδανική θερμική μηχανή που έχει το μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης από όλες τις μηχανές που λειτουργούν ανάμεσα στις θερμοκρασίες T_1 και T_2 .

μικροσκοπική μελέτη: η μελέτη ενός συστήματος με βάση τη συμπεριφορά των δομικών του λίθων.

Π

παλμογράφος: ηλεκτρονική διάταξη που επιτρέπει να παρακολουθούμε και να μετράμε μεταβαλλόμενες τάσεις.

πεδίο δυνάμεων: χώρος στον οποίο ασκείται δύναμη στο κατάλληλο υπόθεμα που βρίσκεται σε αυτόν.

πιο πιθανή ταχύτητα (των μορίων ενός αερίου): αν ομαδοποιήσουμε τα μόρια ενός αερίου με βάση την ταχύτητά τους, η ταχύτητα της πιο πολυπληθούς ομάδας.

πόλωση διηλεκτρικού: η ανακατανομή των ηλεκτρικών φορτίων του διηλεκτρικού όταν εισάγεται σε ηλεκτρικό πεδίο.

πυκνωτής: σύστημα δυο αγωγών που βρίσκονται σε μικρή απόσταση και χωρίζονται από το κενό ή από ένα διηλεκτρικό.

P

ρότορας: το κινητό μέρος μιας γεννήτριας ή ενός ηλεκτροκινητήρα.

Σ

σημειακή μάζα: μάζα που είναι συγκεντρωμένη σε ένα σημείο- σώμα που έχει πολύ μικρές διαστάσεις.

σημείο βρασμού: το σημείο ζέσεως.

σημείο ζέσεως: η θερμοκρασία στην οποία βράζει ένα υγρό.

σταθερά του Boltzmann: το πηλίκο της παγκόσμιας σταθεράς των ιδανικών αερίων με τον αριθμό N_A .

στάτορας: το ακίνητο μέρος μιας γεννήτριας ή ενός ηλεκτροκινητήρα.

συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής δυο κυκλωμάτων: το πηλίκο της

επαγωγικής ηλεκτρεγερτικής δύναμης που αναπτύσσεται σε ένα κύκλωμα προς το ρυθμό μεταβολής του ρεύματος στο άλλο κύκλωμα. συντελεστής αυτεπαγωγής ενός κυκλώματος: το πηλίκο της επαγωγικής ηλεκτρεγερτικής δύναμης που αναπτύσσεται στο κύκλωμα προς το ρυθμό μεταβολής του ρεύματος που το διαρρέει.

συντελεστής απόδοσης θερμικής μηχανής: ο λόγος του έργου που αποδίδει σε έναν κύκλο η μηχανή προς τη θερμότητα που παίρνει από τη θερμή δεξαμενή στον ίδιο χρόνο.

συντελεστής απόδοσης θερμικής μηχανής: ο λόγος του ωφέλιμου έργου που αποδίδει μια θερμική μηχανή προς τη θερμότητα που προσλαμβάνει από το περιβάλλον.

T

τάση σάρωσης: η περιοδική τάση που εφαρμόζεται στα πλακίδια οριζόντιας εκτροπής ενός παλμογράφου. Χαρακτηριστικό της είναι ότι αυξάνεται γραμμικά και μηδενίζεται απότομα.

ταχύτητα διαφυγής: η ελάχιστη ταχύτητα που πρέπει να έχει ένα σώμα για να εγκαταλείψει το βαρυτικό πεδίο ενός ουράνιου σώματος.

Φ

φασματογράφος μάζας: διάταξη που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του πηλίκου m/q φορτισμένων σωματιδίων.

φθορισμός: η εκπομπή ακτινοβολίας από ένα σώμα στο οποίο προσπίπτουν φωτόνια ή φορτισμένα

σωματίδια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από ορισμένη τιμή.

X

χωρητικότητα πυκνωτή: το σταθερό πηλίκο του φορτίου του πυκνωτή προς τη διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους οπλισμούς του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Πανεπιστημιακή Φυσική Hugh D. Young Εκδόσεις Παπαζήση.**
- 2. Physics for scientists & engineers Serway.**
- 3. Φυσική Halliday Resnick Εκδόσεις Πνευματικός.**
- 4. Halliday - Resnick - Walker Fundamentals of Physics Extended (fifth edition).**
- 5. F.J. Keller - W.E. Gettys - M.J. Skove Physics (second edition).**
- 6. ΟΗΑΝΙΑΝ Physics - Εκδόσεις Συμμετρία - Μετάφραση Α. Φίλιππα.**

- 7. Edward M. Purcell Ηλεκτρισμός
- Μαγνητισμός. Μαθήματα Φυσικής - Πανεπιστήμιο Berkeley.
Έκδοση Ε.Μ.Π.**
- 8. Κ.Δ. Αλεξόπουλος - Δ.Ι. Μαρίνος
Γενική Φυσική - Εκδόσεις ΟΛΥ-
ΜΠΙΑ.**
- 9. Οι έννοιες της Φυσικής Paul G.
Hewitt - Πανεπιστημιακές Εκδό-
σεις Κρήτης.**
- 10. Εισαγωγή στην Ηλεκτροδυνα-
μική David J. Griffiths - Πανεπι-
στημιακές Εκδόσεις Κρήτης.**
- 11. Κλασσική και σύγχρονη Φυσι-
κή Kenneth W. Ford - Εκδόσεις
Πνευματικός.**

**12. Η εξέλιξη των ιδεών στη Φυσική
Einstein, Infeld - Εκδόσεις Δω-
δώνη.**

**13. Η ελαφρότητα της Βαρύτητας
Jayant Narlikar - Εκδόσεις Τρο-
χαλία.**

**14. Robert March Φυσική για ποιη-
τές - Εκδόσεις Δίαυλος.**

**15. Ιστορία της Φυσικής Emilio
Segre - Εκδόσεις Δίαυλος.**

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

Ε

εκτόνωση ελεύθερη.....	31
εντροπία.....	6
εντροπίας μικροσκοπική ερμηνεία	19

Μ

μεταβολή αδιαβατική	24
-κυκλική	29
-ισόθερμη	27

Ν

νόμος θερμοδυναμικός 2ος.....	15
-------------------------------	----

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2 Θερμοδυναμική

Εντροπία 6

Υπολογισμός της μεταβολής
της εντροπίας σε μερικές
περιπτώσεις..... 24

Σύνοψη 37

Δραστηριότητες..... 48

Ερωτήσεις..... 53

Ασκήσεις 60

Προβλήματα..... 63

Ένθετο. Αδιαβατικές
μεταβολές του ατμοσφαιρικού
αέρα 82

Παραρτήματα

Πίνακες σταθερών..... 88

Λεξιλόγιο όρων..... 92

Βιβλιογραφία 116

Αλφαβητικό ευρετήριο..... 119



Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.