

Φυσική

Τεύχος Β΄
Ομάδας Προσανατολισμού
Θετικών Σπουδών &
Σπουδών Υγείας

Γ΄ τάξη
Γενικού Λυκείου

2ος 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



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

2ος τόμος

Ι.Τ.Υ.Ε. «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»



ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

2

Ισορροπία	10
Θερμότητα	30
Εσωτερική ενέργεια	31
Α' Θερμοδυναμικός νόμος	44
Θερμικές μηχανές	76
Β' Θερμοδυναμικός νόμος	104
Ασκήσεις.....	145

2-1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος θερμοδυναμική προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις θερμότητα και δύναμη.

Αν και η πρώτη θερμική μηχανή, που είναι ιστορικά γνωστή, κατασκευάστηκε από τον Έρωνα τον Αλεξανδρινό περίπου το 100 μ.Χ., αφετηρία για την ανάπτυξη της θερμοδυναμικής στάθηκε η εφεύρεση της ατμομηχανής και οι προσπάθειες που ακολούθησαν για τη βελτίωση και τελειοποίηση των μηχανών που μετέτρεπαν τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο. Η θερμοδυναμική μελετάει τη μετατροπή της θερμότητας σε μηχανικό έργο και τους περιορισμούς που η φύση έχει επιβάλει.

Από την εποχή που εφευρέθηκε η πρώτη ατμομηχανή μέχρι σήμε-

ρα έχουν περάσει πολλά χρόνια. Η πρόοδος της θερμοδυναμικής οδήγησε στην κατασκευή όλων των σύγχρονων θερμικών μηχανών, βενζινοκινητήρων, πετρελαιοκινητήρων, κινητήρων αεροσκαφών, ατμοστρόβιλων.

2-2 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα χρησιμοποιούμε συχνά τον όρο θερμοδυναμικό σύστημα. Γενικά, σύστημα είναι ένα τμήμα του φυσικού κόσμου που διαχωρίζεται από τον υπόλοιπο κόσμο με πραγματικά ή νοητά τοιχώματα. Ο υπόλοιπος φυσικός κόσμος αποτελεί το περιβάλλον του συστήματος.

Αν κατά τη μελέτη ενός συστήματος, για την περιγραφή του

χρησιμοποιούμε μόνο μεγέθη της μηχανικής, π.χ. δύναμη, ταχύτητα, επιτάχυνση, ορμή κ.λπ. το σύστημα χαρακτηρίζεται μηχανικό. Στην περίπτωση που για την περιγραφή του χρησιμοποιούνται και θερμοδυναμικά μεγέθη, όπως θερμότητα, θερμοκρασία, εσωτερική ενέργεια και άλλα, το σύστημα χαρακτηρίζεται θερμοδυναμικό.

Εμείς θα ασχοληθούμε με τα απλούστερα θερμοδυναμικά συστήματα, δηλαδή αέρια που βρίσκονται μέσα σε δοχεία στο εσωτερικό των οποίων δε γίνονται χημικές αντιδράσεις. Ένα τέτοιο σύστημα θα χαρακτηρίζεται θερμικά μονωμένο ή απλά μονωμένο αν τα τοιχώματα του δοχείου δεν επιτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας από το αέριο προς το περιβάλλον ή αντίστροφα.



Εικ. 2.1 Σχέδιο του ατμοστρόβιλου που επιινόησε ο αρχαίος έλληνας εφευρέτης Έρωι (Αλεξάνδρεια, περ.100 μ.Χ.). Το δοχείο είναι κλειστό και επικοινωνεί με τη σφαίρα με τους δύο κατακόρυφους σωλήνες. Με βρασμό νερού παράγεται ατμός στο δοχείο που εισέρχεται από τους σωλήνες στη σφαίρα και εξέρχεται με μεγάλη ταχύτητα από τα δύο ακροφύσια θέτοντας σε περιστροφή τη σφαίρα.

2-3 ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για να περιγραφεί ένα θερμοδυναμικό σύστημα χρειάζεται να γνωρίζουμε κάποια στοιχεία του. Για παράδειγμα, ορισμένη ποσότητα αερίου που βρίσκεται σε ένα δοχείο μπορεί να περιγραφεί αν γνωρίζουμε τον όγκο του, τη θερμοκρασία του και την πίεσή του. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται θερμοδυναμικές μεταβλητές.

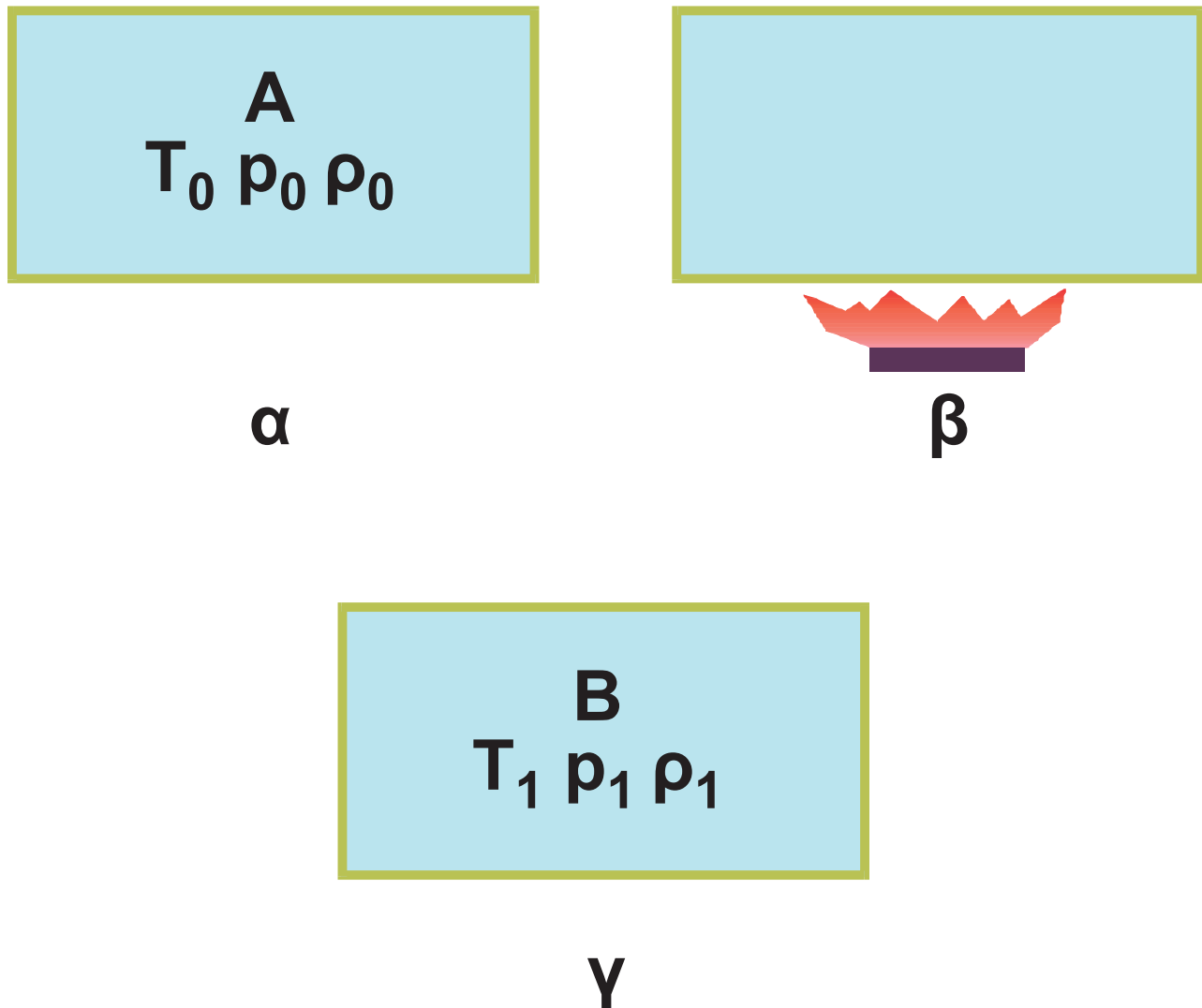
Ο όγκος, η πίεση και η θερμοκρασία ορισμένης ποσότητας αερίου σχετίζονται μεταξύ τους με την καταστατική εξίσωση. Για να περιγράψουμε την κατάσταση συγκεκριμένης ποσότητας αερίου αρκούν δύο από αυτά αφού το τρίτο προκύπτει από την καταστατική εξίσωση. Οι δύο ποσότητες που είναι ικανές για την

περιγραφή της κατάστασης ορισμένης ποσότητας αερίου αποτελούν τις ανεξάρτητες θερμοδυναμικές μεταβλητές του συστήματος.

Όταν σ' ένα θερμοδυναμικό σύστημα οι θερμοδυναμικές μεταβλητές που το περιγράφουν διατηρούνται σταθερές με το χρόνο, το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας. Σε αντίθετη περίπτωση το σύστημα μεταβάλλεται.

Ειδικότερα, λέμε ότι

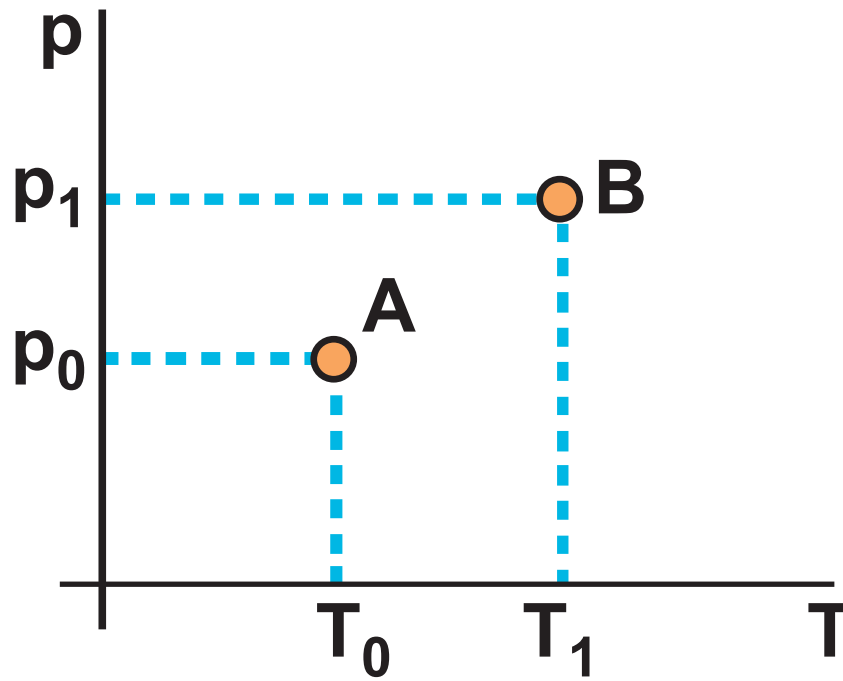
μια ποσότητα αερίου βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας -ή απλά ισορροπίας- όταν η πίεση (p), η πυκνότητα (ρ) και η θερμοκρασία του (T) έχουν την ίδια τιμή σε όλη την έκταση του αερίου.



Σχ. 2.1 (α) Το αέριο βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας. **(β)** Το αέριο δε βρίσκεται σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας. Η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητα δεν έχουν την ίδια τιμή σε όλη του την έκταση. **(γ)** Το αέριο βρίσκεται σε νέα κατάσταση ισορροπίας.

Η κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας ενός αερίου μπορεί να παρασταθεί γραφικά με ένα σημείο σε σύστημα συντεταγμένων με άξονες δύο ανεξάρτητες θερμοδυναμικές μεταβλητές του συστήματος. Αν το σύστημα δε βρίσκεται σε ισορροπία η κατάστασή του δεν μπορεί να αποδοθεί γραφικά αφού δεν μπορούμε να μιλήσουμε για πίεση ή θερμοκρασία του συστήματος. Η πίεση και η θερμοκρασία έχουν διαφορετικές τιμές στα διάφορα σημεία του αερίου.

Η κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας ενός συστήματος μπορεί να παρασταθεί γραφικά με ένα σημείο. Ένα σύστημα που δε βρίσκεται σε ισορροπία δεν παριστάνεται γραφικά.



Σχ. 2.2 Η αρχική κατάσταση του αερίου του σχήματος 2.1 παριστάνεται με ένα σημείο το A και η τελική κατάστασή του, που είναι κατάσταση ισορροπίας, με το σημείο B.

2-4 ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

Όταν σε ένα θερμοδυναμικό σύστημα πραγματοποιείται μια μεταβολή αλλάζουν τόσο το σύστημα όσο και το περιβάλλον του συστήματος.

Αντιστρεπτή ονομάζεται εκείνη η μεταβολή κατά την οποία υπάρχει η δυνατότητα επαναφοράς του συστήματος και του περιβάλλοντος στην αρχική τους κατάσταση.

Οι μεταβολές στη φύση δεν είναι αντιστρεπτές. Η αντίστροφη πορεία ενός φαινομένου είναι αυτό που θα βλέπαμε εάν κινηματογραφούσαμε το φαινόμενο και παίζαμε την ταινία ανάποδα - προς τα πίσω. Εάν κινηματογραφούσαμε ένα κερί που καίγεται θα ήταν αποδεκτή η αντίστροφη πορεία, δηλαδή ένα κερί που το μήκος του αυξάνεται; Η αντίστροφη πορεία στην ανάπτυξη ενός φυτού θα ήταν το φυτό να μικραίνει μέχρι να ξαναγίνει σπόρος. Είμαστε τόσο εξοικειωμένοι με τη

μη αντιστρεπτότητα των μεταβολών στη φύση ώστε η αντίστροφη πορεία ενός φαινομένου φαίνεται να παραβιάζει την κοινή λογική.



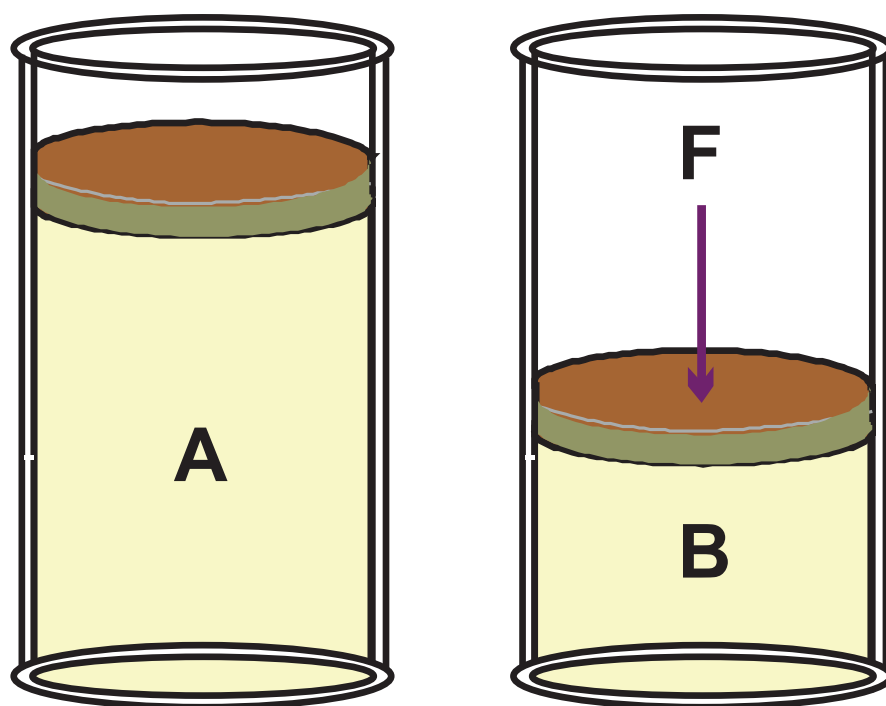
Εικ 2.2 Για το αβγό της φωτογραφίας δεν υπάρχει καμιά δυνατότητα να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση.

Όμως, η έννοια της αντιστρεπτής μεταβολής είναι χρήσιμη. Έστω λοιπόν, ένα αέριο που βρίσκεται μέσα σε κύλινδρο. Ο κύλινδρος κλείνεται στο πάνω μέρος του με εφαρμοστό έμβολο. Το αέριο μέσα στο δοχείο βρίσκεται σε ισορροπία. Η θερμοκρασία του είναι T_A , ο όγκος που καταλαμβάνει V_A και η πίεση που ασκεί p_A . Θα μεταβάλλουμε την κατάσταση του αερίου ώστε ο όγκος του να μειωθεί σε V_B και η πίεση και η θερμοκρασία να πάρουν τελικά τις τιμές p_B και T_B .

Από τους πολλούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί η μεταβολή επιλέγουμε δυο ακραίες περιπτώσεις:

Στην πρώτη πιέζουμε απότομα το έμβολο ώστε ο όγκος του αερίου να μειωθεί στην επιθυμητή τιμή και

περιμένουμε μέχρι να αποκατασταθεί ισορροπία στο αέριο. Στη διάρκεια της μεταβολής αυτής το αέριο βρίσκεται σε αναταραχή, η πίεση και η θερμοκρασία του δεν είναι ίδιες σε όλη την έκτασή του και επομένως δεν μπορούμε να παραστήσουμε τη μεταβολή σε διάγραμμα. Σε διάγραμμα μπορεί να παρασταθεί μόνο η αρχική και η τελική κατάσταση του αερίου, που είναι καταστάσεις ισορροπίας.



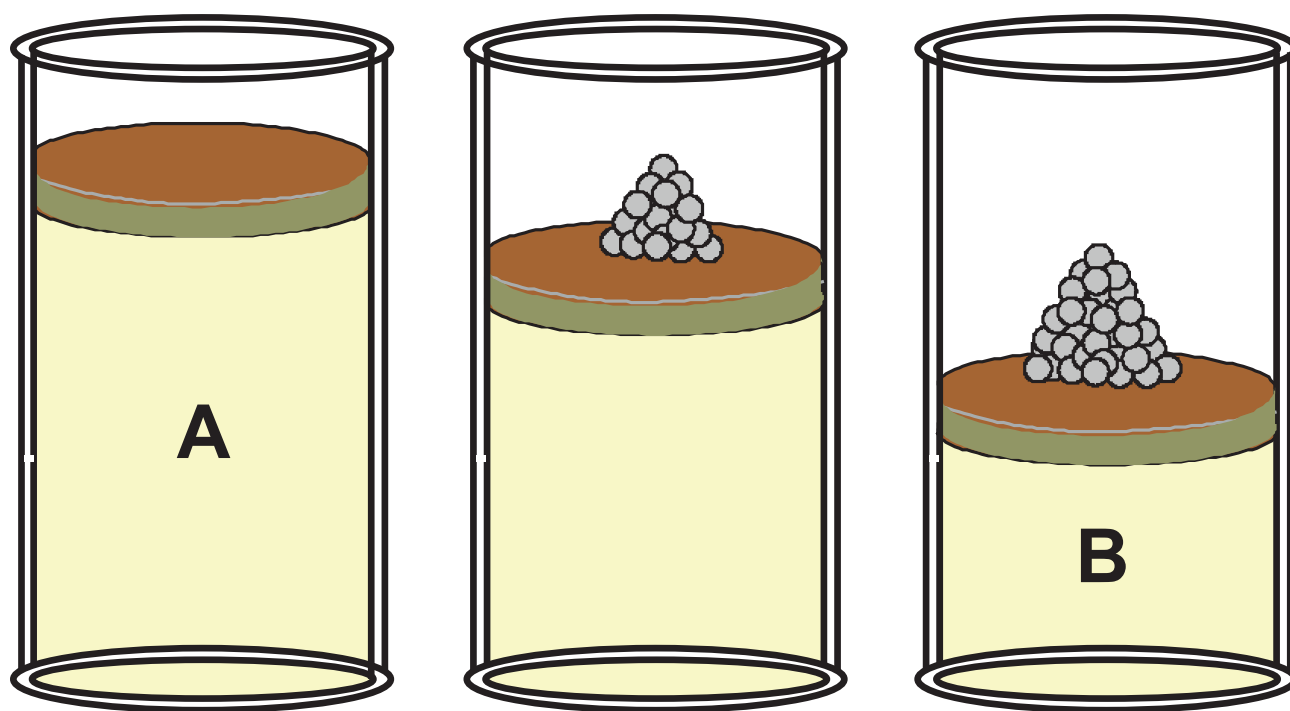
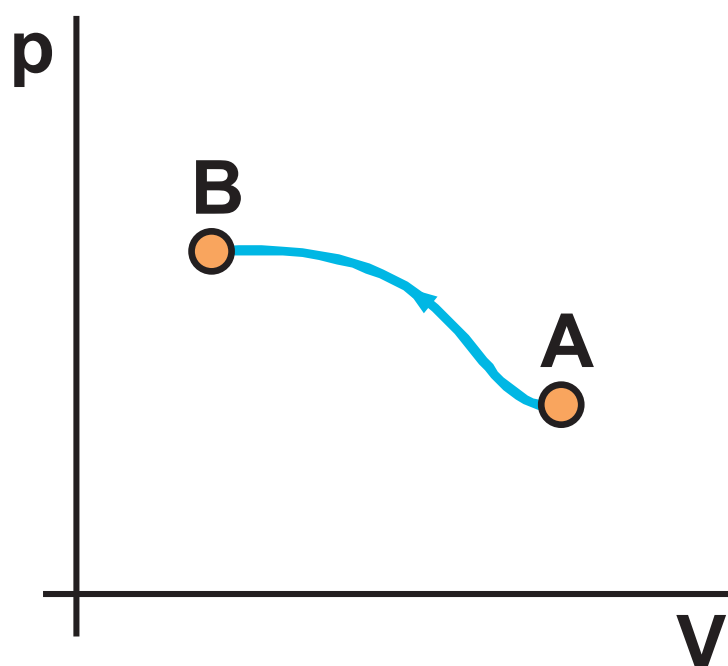


Σχ. 2.3 Πιέζουμε απότομα το έμβολο ώστε το αέριο να μεταβεί στην κατάσταση B. Η μεταβολή δεν είναι αντιστρεπτή. Στο διάγραμμα μπορεί να παρασταθεί μόνο η αρχική και η τελική κατάσταση του αερίου.

Στη δεύτερη περίπτωση ρίχνουμε πρώτα λίγους κόκκους άμμου πάνω στο έμβολο. Αυτό θα μειώσει ελάχιστα τον όγκο του αερίου. Περιμένουμε λίγο ώστε να ισορροπήσει το αέριο. Η νέα κατάσταση ισορροπίας βρίσκεται πολύ κοντά στην αρχική. Αν απεικονίζαμε γραφικά τη νέα κατάσταση ισορροπίας θα προέκυπτε ένα σημείο πολύ κοντά στο σημείο που απεικονίζει την αρχική κατάσταση ισορροπίας. Στη συνέχεια ρίχνουμε πάλι λίγους κόκκους άμμου πάνω στο έμβολο, μειώνοντας ακόμα λίγο τον όγκο, περιμένουμε πάλι να αποκατασταθεί κατάσταση ισορροπίας, κ.ο.κ. Επαναλαμβάνοντας συνεχώς αυτή τη διαδικασία φέρνουμε το σύστημα στην τελική κατάσταση.

Κατά τη διάρκεια αυτής της μεταβολής το σύστημα περνάει από διαδοχικές καταστάσεις που μπορούμε να τις θεωρήσουμε καταστάσεις ισορροπίας.

Κάθε μια από αυτές μπορεί να παρασταθεί γραφικά με ένα σημείο. Εφόσον η μια κατάσταση ισορροπίας διαδέχεται την άλλη, τα σημεία στο διάγραμμα θα βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια γραμμή που ξεκινάει από την αρχική κατάσταση και οδηγεί στην τελική. Με αντίστροφους χειρισμούς, αφαιρώντας δηλαδή άμμο από το έμβολο, το σύστημα θα οδηγηθεί πάλι στην αρχική του κατάσταση.



Σχ. 2.4 Προσθέτουμε στο έμβολο αργά κόκκους άμμου μέχρι το αέριο να φτάσει στην τελική κατάσταση B.

Το αέριο μεταβαίνει από την κατάσταση A στη B μέσω διαδοχικών καταστάσεων που μπορούν να θεωρηθούν καταστάσεις ισορροπίας. Η μεταβολή αυτή είναι αντιστρεπτή και παριστάνεται με μια γραμμή που οδηγεί από την αρχική στην τελική κατάσταση.

Η μεταβολή που περιγράψαμε αποτελεί μια εξιδανίκευση, δεν είναι δυνατόν ένα σύστημα να βρίσκεται διαρκώς σε ισορροπία και ταυτόχρονα σιγά - σιγά να μεταβάλλεται.

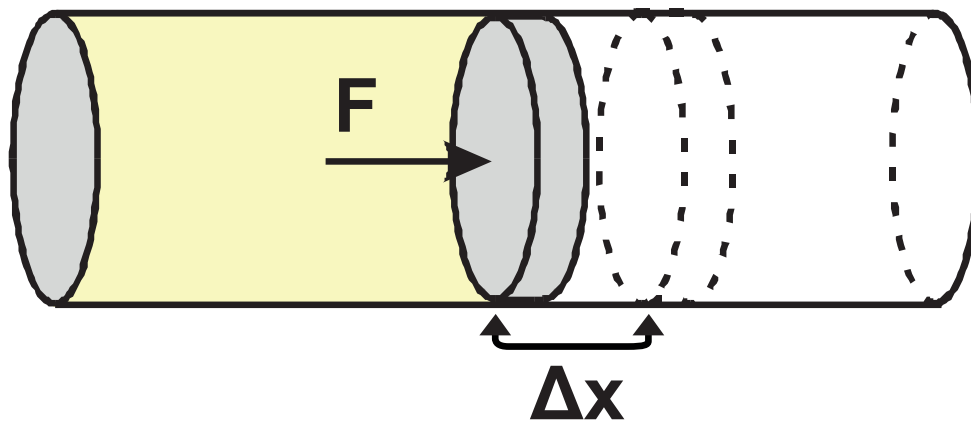
Μια τέτοια εξιδανικευμένη μεταβολή κατά την οποία ένα σύστημα μεταβαίνει από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική μέσω διαδοχικών καταστάσεων ισορροπίας θα την ονομάζουμε αντιστρεπτή. Μια

τέτοια μεταβολή είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί και αντίστροφα.

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

2-5 ΕΡΓΟ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΑΠΟ ΑΕΡΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΟΓΚΟΥ

Έστω ένα αέριο σε κύλινδρο που κλείνεται από εφαρμοστό έμβολο. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης, οι ατμομηχανές, οι συμπιεστές στα ψυγεία και τα κλιματιστικά μηχανήματα χρησιμοποιούν κάποια παραλλαγή τέτοιου συστήματος.



Σχ. 2.5 Το αέριο εκτονώνεται και το έμβολο μετατοπίζεται κατά Δx . Η δύναμη F που ασκεί το αέριο στο έμβολο παράγει έργο ΔW .

Καθώς τα μόρια του αερίου μέσα στον κύλινδρο συγκρούονται με τα τοιχώματα του κυλίνδρου ασκούν δυνάμεις σ' αυτά. Έστω F η ολική δύναμη που ασκεί το αέριο στο έμβολο. Αν το έμβολο μετακινηθεί προς τα έξω κατά την πολύ μικρή απόσταση Δx , το έργο που παράγει η δύναμη που ασκεί το αέριο είναι:

$$\Delta W = F \Delta x \quad (2.1)$$

Αν το εμβαδόν του εμβόλου είναι A και η πίεση του αερίου p , ισχύει

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{ή} \quad F = p A$$

και η σχέση (2.1) γίνεται

$$\Delta W = p A \Delta x \quad (2.2)$$

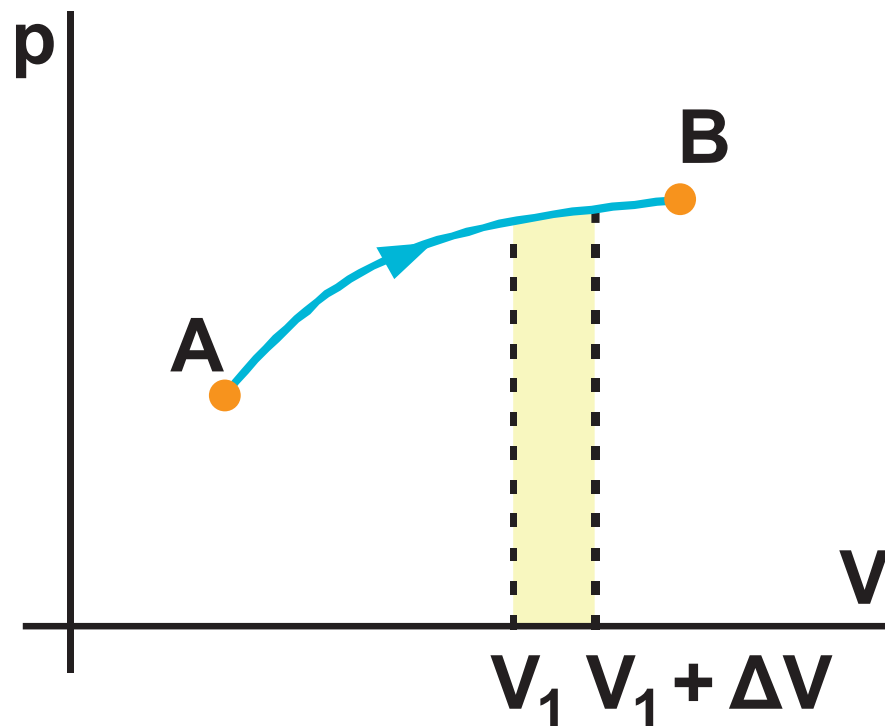
Όμως $A \Delta x = \Delta V$
όπου ΔV η πολύ μικρή μεταβολή του όγκου του αερίου. Έτσι μπορούμε να εκφράσουμε το έργο που παράγει το αέριο

$$\Delta W = p \Delta V \quad (2.3)$$

Σύμφωνα με τη σχέση (2.3) το έργο είναι θετικό αν το αέριο εκτονώνεται (αυξάνει ο όγκος του)

και αρνητικό αν το αέριο συμπιέζεται.

Προσοχή: στο έμβολο μπορεί να ασκούνται και πολλές άλλες δυνάμεις. Η σχέση (2.3) δίνει το έργο της δύναμης που ασκεί το αέριο.

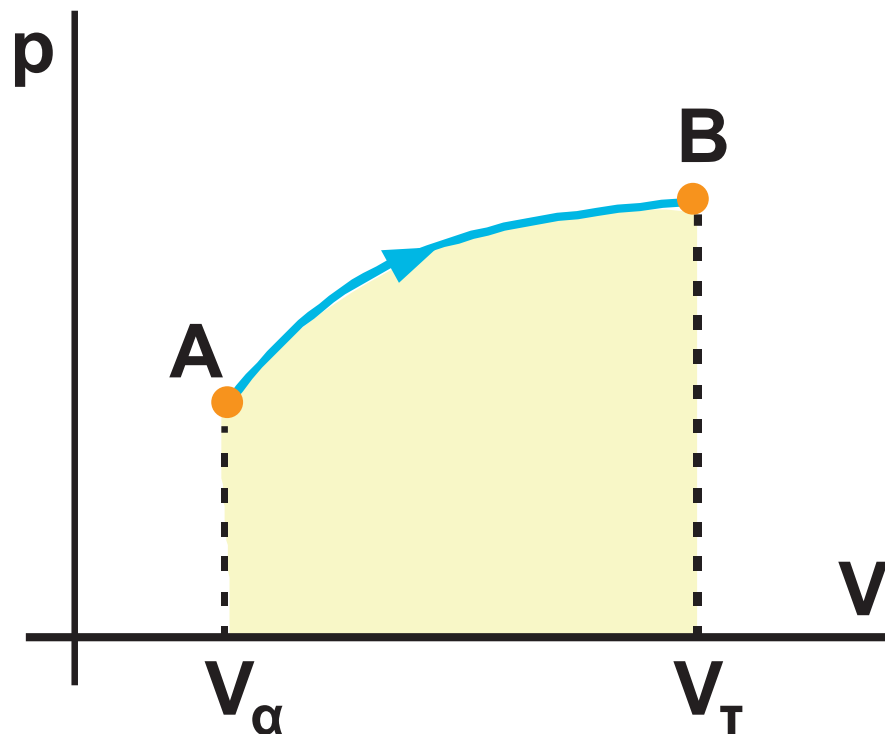


Σχ. 2.6 Σε μια τυχαία αντιστρεπτή μεταβολή το έργο κατά την εκτόνωση του αερίου από όγκο V_1 σε όγκο $V_1 + \Delta V$ είναι ίσο με το εμβαδόν της επιφάνειας με το κίτρινο χρώμα.

Έστω τώρα μια τυχαία αντιστρεπτή μεταβολή κατά την οποία το αέριο μεταβαίνει από την αρχική κατάσταση A στην τελική κατάσταση B (σχ. 2.6). Αν η βάση (ΔV) της επιφάνειας με το κίτρινο χρώμα στο σχήμα 2.6 είναι πολύ μικρή, η επιφάνεια μπορεί να θεωρηθεί παραλληλόγραμμο. Το εμβαδόν της, που ισούται με το γινόμενο βάση $\times$ ύψος $= \Delta V \cdot p = \Delta W$, δίνει το έργο του αερίου κατά την εκτόνωσή του, από όγκο V_1 σε όγκο $V_1 + \Delta V$.

Αν χωρίσουμε την επιφάνεια κάτω από τη γραμμή του διαγράμματος σε στοιχειώδεις τέτοιες επιφάνειες και αθροίσουμε τα εμβαδά θα πάρουμε το έργο του αερίου κατά τη μεταβολή του από την κατάσταση A στην κατάσταση B (σχ. 2.7).

Το έργο ενός αερίου σε μια αντιστρεπτή μεταβολή είναι αριθμητικά ίσο με το εμβαδόν της επιφάνειας από τη γραμμή του διαγράμματος μέχρι τον άξονα V , στο διάγραμμα p - V .



Σχ. 2.7 Σε μια τυχαία αντιστρεπτή μεταβολή το έργο του αερίου κατά τη μεταβολή του από το A στο B είναι ίσο με το εμβαδόν κάτω από την γραμμή του διαγράμματος.

2-6 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Αν έρθουν σε επαφή δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες T_1 και T_2 ($T_1 > T_2$), μετά από κάποιο χρόνο θα αποκτήσουν ίδια θερμοκρασία T , μεταξύ των θερμοκρασιών T_1 και T_2 ($T_1 > T > T_2$). Φαίνεται σαν κάτι να μεταφέρεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Αυτό που μεταφέρεται είναι ενέργεια.

Η ενέργεια που μεταφέρεται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας δύο σωμάτων ονομάζεται θερμότητα και συμβολίζεται με Q .

Η θερμότητα, ως μορφή ενέργειας, στο SI μετριέται σε Joule. Πιο συνηθισμένη μονάδα της είναι η θερμίδα (cal από το calorie). $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$.

Προσοχή: Η θερμότητα δεν πρέπει να συγχέεται με τη θερμοκρασία. Η θερμότητα είναι ενέργεια ενώ η θερμοκρασία είναι το μέγεθος που επινοήσαμε για να μετράμε αντικειμενικά πόσο ζεστό ή κρύο είναι ένα σώμα.

2-7 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ένα αέριο σε υψηλή πίεση έχει τη δυνατότητα να παράγει έργο, επομένως το αέριο εμπεριέχει ενέργεια. Την ενέργεια αυτή θα την ονομάσουμε εσωτερική ενέργεια (συμβολίζεται με U), για να τη διακρίνουμε από οποιαδήποτε εξωτερική ενέργεια μπορεί να έχει το αέριο (π.χ. το αέριο μπορεί να έχει και κινητική ενέργεια λόγω μεταφορικής κίνησης

που εκτελεί το δοχείο μέσα στο οποίο βρίσκεται).

Από μικροσκοπική άποψη, η ενέργεια που εμπεριέχει ένα σύστημα οφείλεται στην ενέργεια που έχουν τα σωματίδια που το απαρτίζουν. Τα μόρια, τα άτομα ή τα ιόντα οποιουδήποτε σώματος, σε όποια φάση και αν βρίσκεται (στερεή, υγρή ή αέρια) διαρκώς κινούνται. Έχουν επομένως κινητική ενέργεια. Επιπλέον, στα στερεά και στα υγρά τα σωματίδια αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, επομένως έχουν και δυναμική ενέργεια.

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

Τα μόρια του ιδανικού αερίου δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, επομένως δεν έχουν δυναμική ενέργεια. Η εσωτερική ενέργεια ενός ιδανικού αερίου οφείλεται στις κινητικές ενέργειες που έχουν τα μόριά του και είναι ίση με το άθροισμα αυτών των ενεργειών.

Η εσωτερική ενέργεια ενός ιδανικού αερίου είναι δυνατό να υπολογιστεί.

Η μέση κινητική ενέργεια ενός μορίου ιδανικού αερίου υπολογίστηκε στην παράγραφο 1-5 και βρέθηκε

$$\frac{1}{2}m\overline{u^2} = \frac{3}{2}kT.$$

Αν το αέριο περιέχει N μόρια, η εσωτερική του ενέργεια θα είναι

$$U = N \frac{1}{2}m\overline{u^2} = N \frac{3}{2}kT \quad (2.4)$$

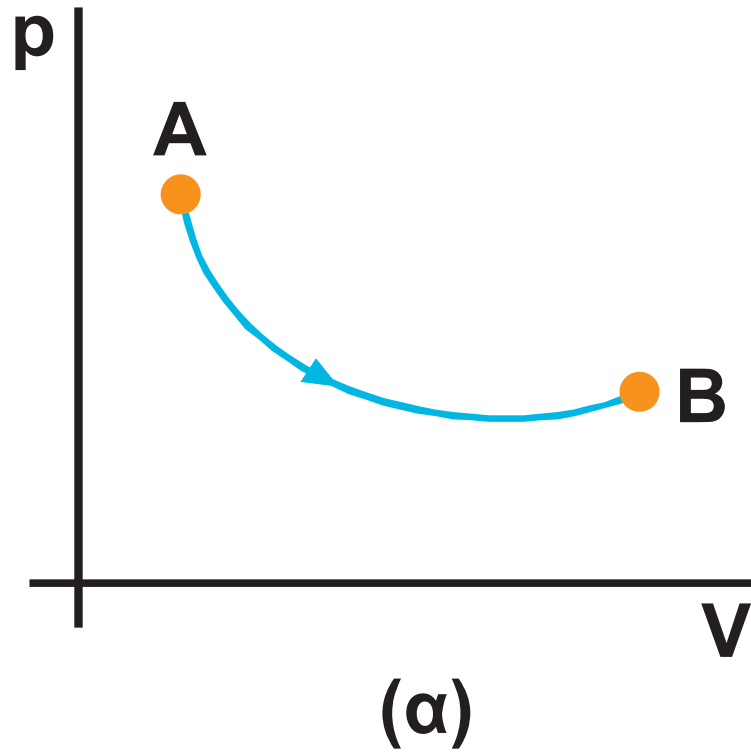
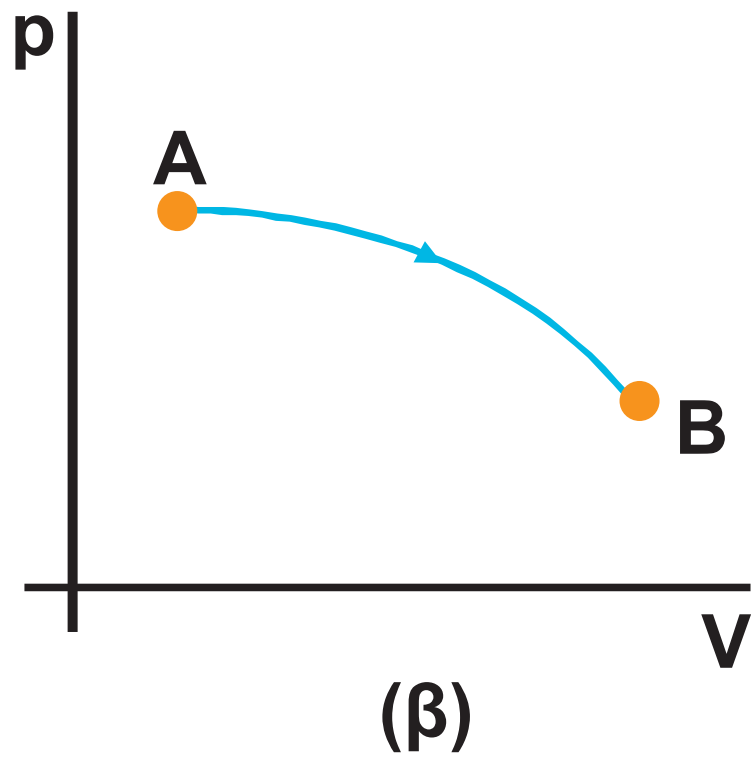
Αλλά $N = nN_A$ όπου n ο αριθμός των mol του αερίου. Επομένως

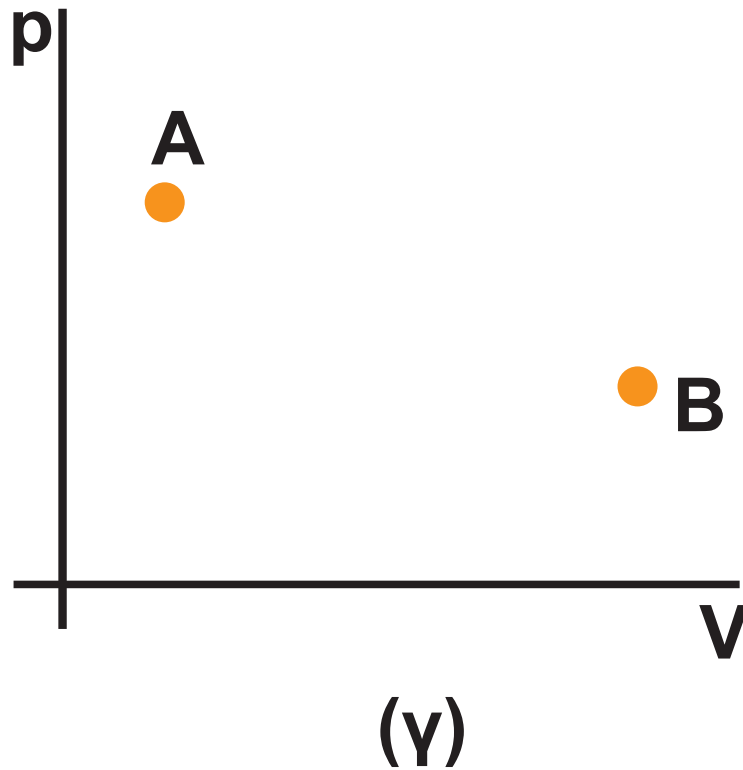
$U = nN_A \frac{3}{2}kT$ και, αν λάβουμε υπόψη ότι $N_A k = R$, τελικά

$$U = \frac{3}{2}nRT \quad (2.5)$$

Η (2.5) δείχνει ότι η εσωτερική ενέργεια ορισμένης ποσότητας ιδανικού αερίου εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του.

Έστω ένα ιδανικό αέριο που βρίσκεται αρχικά σε ισορροπία στην κατάσταση A. Αν το αέριο μεταβεί σε μια άλλη κατάσταση ισορροπίας B, η εσωτερική του ενέργεια θα μεταβληθεί. Σύμφωνα με τη σχέση (2.5) η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική θερμοκρασία και όχι από τον τρόπο που πραγματοποιήθηκε η μεταβολή. Γενικότερα η μεταβολή στην εσωτερική ενέργεια ενός θερμοδυναμικού συστήματος εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική κατάσταση του συστήματος.





Σχ. 2.8 Στα (α) και (β) ένα αέριο σύστημα μεταβαίνει από την κατάσταση A στη B με, διαφορετικό κάθε φορά, αντιστρεπτό τρόπο. Στο (γ) το ίδιο σύστημα μεταβαίνει από την κατάσταση A στη B με μη αντιστρεπτό τρόπο. Η μεταβολή δεν μπορεί να παρασταθεί γραφικά. Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος είναι ίδια σε όλες τις περιπτώσεις.

Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ενός θερμοδυναμικού συστήματος εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική κατάσταση του συστήματος και όχι από τον τρόπο που πραγματοποιήθηκε η μεταβολή.

2-8 ΠΡΩΤΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ

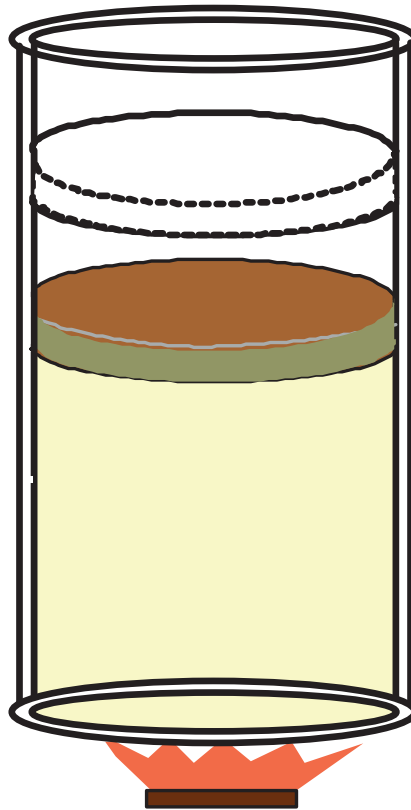
Ένα αέριο μεταβαίνει από μια αρχική κατάσταση σε μια άλλη. Έστω ότι κατά τη διάρκεια αυτής της μεταβολής το αέριο απορρόφησε ποσό θερμότητας Q και ότι το έργο που παράγει το αέριο κατά τη μεταβολή αυτή είναι W .

Η θερμότητα που προσφέρθηκε στο αέριο μετασχηματίζεται σε

ενέργεια άλλης μορφής. Συγκεκριμένα, ένα μέρος της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την εσωτερική ενέργεια του αερίου και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

Το ποσό της θερμότητας που προσφέρεται στο αέριο, η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου και το έργο που παράγει το αέριο συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση

$$Q = \Delta U + W \quad (2.6)$$



Σχ. 2.9 Ποσότητα αέριου θερμαίνεται. Το αέριο κατά τη διάρκεια της μεταβολής του παράγει έργο.

Η σχέση (2.6) αποτελεί τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο.

Το ποσό θερμότητας (Q) που απορροφά ή αποβάλλει ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα της

**μεταβολής της εσωτερικής του
ενέργειας και του έργου που πα-
ράγει ή δαπανά το σύστημα.**

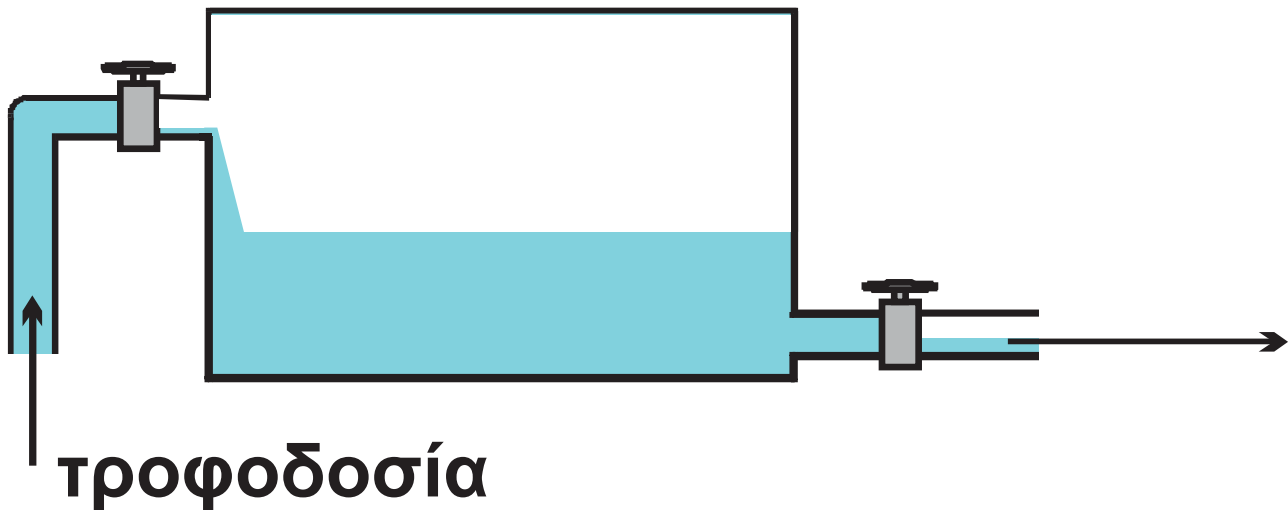
**Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος
είναι η εφαρμογή της αρχής διατή-
ρησης της ενέργειας στη θερμοδυ-
ναμική.**

**Το παράδειγμα που ακολουθεί
αποτελεί ένα μηχανικό ισοδύναμο
του πρώτου θερμοδυναμικού νό-
μου.**

νερό που
μπαίνει στη
δεξαμενή

=

μεταβολή στην
ποσότητα νερού
της δεξαμενής



Σχ. 2.10 Η δεξαμενή τροφοδοτείται από κάποια πηγή και δίνει νερό σε δίκτυο, μέσω αγωγού. Η δεξαμενή παίζει το ρόλο του θερμοδυναμικού συστήματος. Το νερό μέσα στη δεξαμενή αντιστοιχεί στην εσωτερική ενέργεια, το νερό που εισέρχεται στη θερμότητα και το νερό που εξέρχεται στο μηχανικό έργο.

**= νερό που
έφυγε προς
το δίκτυο**

προς το δίκτυο

Αν το σύστημα απορροφά θερμότητα, το Q στη σχέση (2.6) είναι θετικό, αν αποβάλλει θερμότητα είναι αρνητικό. Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας είναι θετική όταν αυξάνει η θερμοκρασία του συστήματος και αρνητική όταν μειώνεται. Το έργο του αερίου είναι θετικό όταν το αέριο εκτονώνεται και αρνητικό όταν συμπιέζεται.

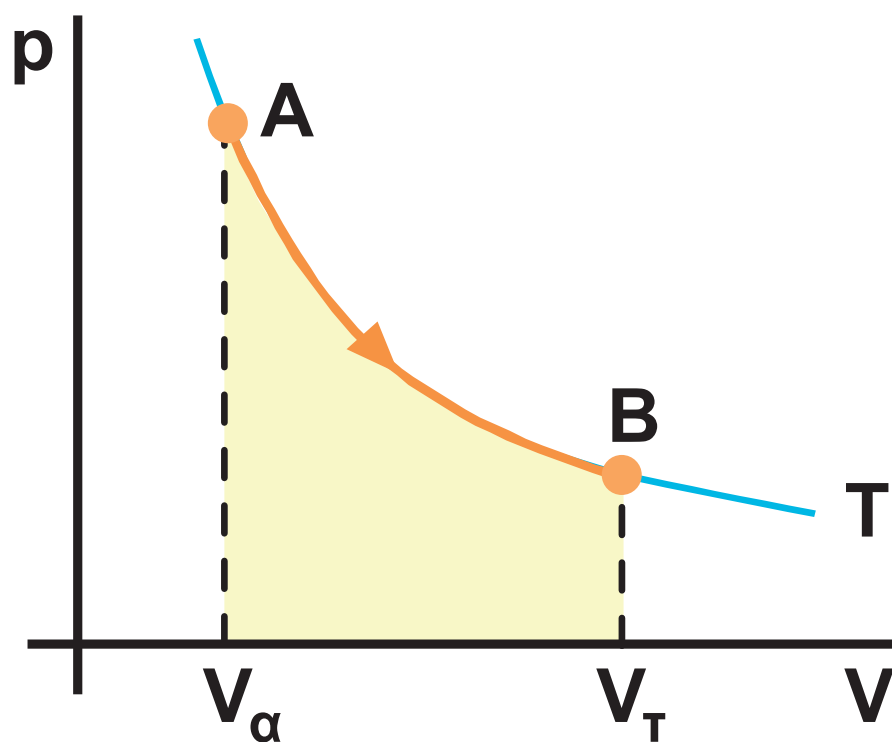
2-9 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΝΟΜΟΥ ΣΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

A) Ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή

Έστω μια ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου από την αρχική κατάσταση A,

όγκου V_{α} , στην τελική κατάσταση B, όγκου V_{τ} .

Η μεταβολή γίνεται σε σταθερή θερμοκρασία T . Το σχήμα 2.11 παριστάνει γραφικά τη μεταβολή.



Σχ. 2.11 Το διάγραμμα παριστάνει την ισόθερμη εκτόνωση ενός αερίου από την αρχική κατάσταση A στην τελική κατάσταση B.

Το εμβαδόν κάτω από τη γραμμή του διαγράμματος είναι ίσο με το έργο που παράγει το αέριο. Από τον υπολογισμό του εμβαδού, που δεν είναι δυνατόν να γίνει χωρίς τη χρήση ολοκληρωμάτων, προκύπτει ότι

$$W = nRT \ln \frac{V_T}{V_\alpha}$$

Επειδή η θερμοκρασία του αερίου δε μεταβάλλεται, $U_A = U_B$ επομένως $\Delta U = 0$, οπότε ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος, στην ισόθερμη μεταβολή, παίρνει τη μορφή

$$Q = W$$

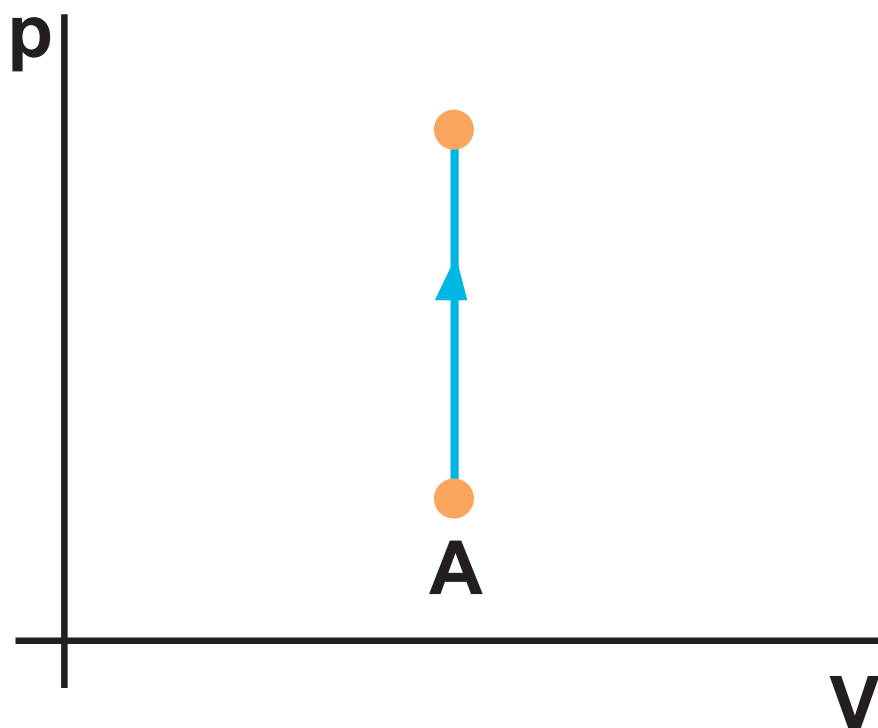
ή

$$Q = nRT \ln \frac{V_T}{V_\alpha}$$

Στην ισόθερμη εκτόνωση όλο το ποσό θερμότητας που απορροφά το αέριο μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

B) Ισόχωρη αντιστρεπτή μεταβολή

Έστω η ισόχωρη αντιστρεπτή μεταβολή μιας ποσότητας αερίου, από την κατάσταση A στην κατάσταση B. Το αέριο θερμαίνεται με σταθερό όγκο και η θερμοκρασία του αυξάνεται. Το σχήμα 2.12 παριστάνει γραφικά τη μεταβολή.



Σχ. 2.12 Η ισόχωρη μεταβολή ενός αερίου από την κατάσταση **A** στην κατάσταση **B**.

Από το σχήμα φαίνεται ότι το έργο του αερίου είναι μηδέν. Αυτό είναι αναμενόμενο γιατί έργο έχουμε μόνο όταν ο όγκος του αερίου μεταβάλλεται. Έτσι από τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο προκύπτει

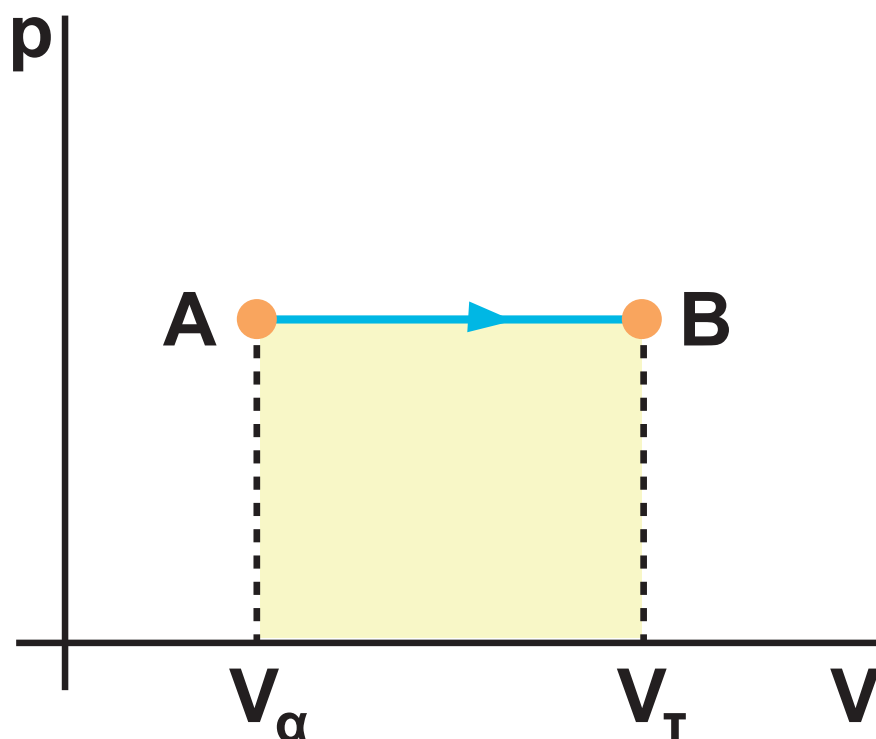
$$Q = \Delta U$$

Στην ισόχωρη θέρμανση όλο το ποσό θερμότητας που απορρόφησε το αέριο χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας.

Γ) Ισοβαρής αντιστρεπτή μεταβολή

Ένα αέριο θερμαίνεται ισοβαρώς από την αρχική κατάσταση Α, όγκου V_{α} , στην τελική κατάσταση Β, όγκου V_{τ} . Το σχήμα 2.13 παριστάνει γραφικά τη μεταβολή. Το εμβαδόν κάτω από τη γραμμή του διαγράμματος δίνει το έργο του αερίου.

$$W = p(V_{\tau} - V_{\alpha}) \quad \text{ή} \quad W = nR (T_{\tau} - T_{\alpha})$$



Σχ. 2.13 Η ισοβαρής μεταβολή ενός αερίου από την κατάσταση A στην κατάσταση B.

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος παίρνει τη μορφή

$$Q = \Delta U + p(V_T - V_\alpha)$$

Στην ισοβαρή θέρμανση ένα μέρος από το ποσό θερμότητας που

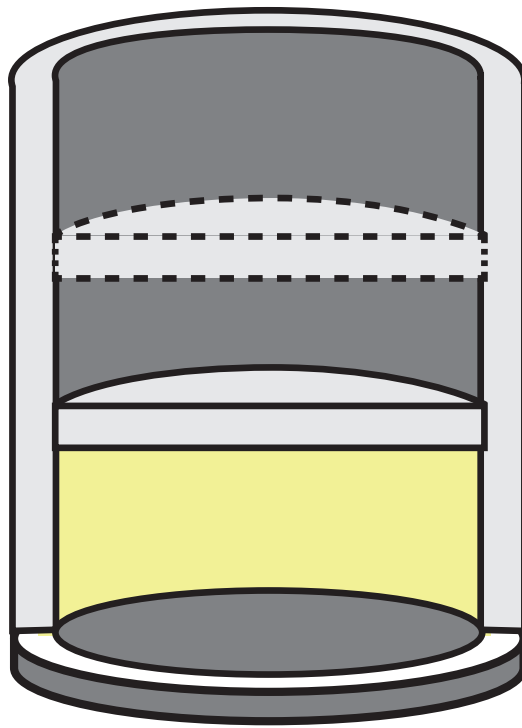
απορρόφησε το αέριο από το περιβάλλον χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας και το υπόλοιπο αποδόθηκε εκ νέου στο περιβάλλον με τη μορφή έργου.

Δ) Αδιαβατική μεταβολή

Αδιαβατική ονομάζουμε τη μεταβολή κατά την οποία δε συντελείται μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον προς το σύστημα ή αντίστροφα.

Έστω ένα αέριο που εκτονώνεται με αντιστρεπτό τρόπο μέσα σε δοχείο με έμβολο από την κατάσταση A (p_α, V_α) στην κατάσταση B (p_β, V_β) (σχ. 2.14). Το δοχείο και το έμβολο είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να

μην επιτρέπουν την ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο αέριο και στο περιβάλλον (ένα τέτοιο δοχείο είναι το θερμός που χρησιμοποιούμε στα σπίτια μας). Η μεταβολή αυτή είναι μια αντιστρεπτή αδιαβατική μεταβολή.



Σχ. 2.14 Τα τοιχώματα του δοχείου καθώς και το έμβολο είναι από μονωτικό υλικό. Στη διάρκεια της μεταβολής το αέριο δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον.

Ο νόμος που διέπει τη μεταβολή είναι

$$pV^\gamma = \text{σταθ.}$$

[Νόμος του Poisson
(Πουασόν)]

όπου γ ένας καθαρός αριθμός, μεγαλύτερος της μονάδας, που εξαρτάται από την ατομικότητα του αερίου και από το είδος των δεσμών που συγκροτούν τα άτομα στο μόριο. Για τον αριθμό αυτό θα μιλήσουμε στην επόμενη ενότητα.

Εφαρμόζοντας τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο και λαμβάνοντας υπόψη ότι $Q = 0$ προκύπτει

$$0 = \Delta U + W \quad \text{ή} \quad W = -\Delta U \quad (2.7)$$

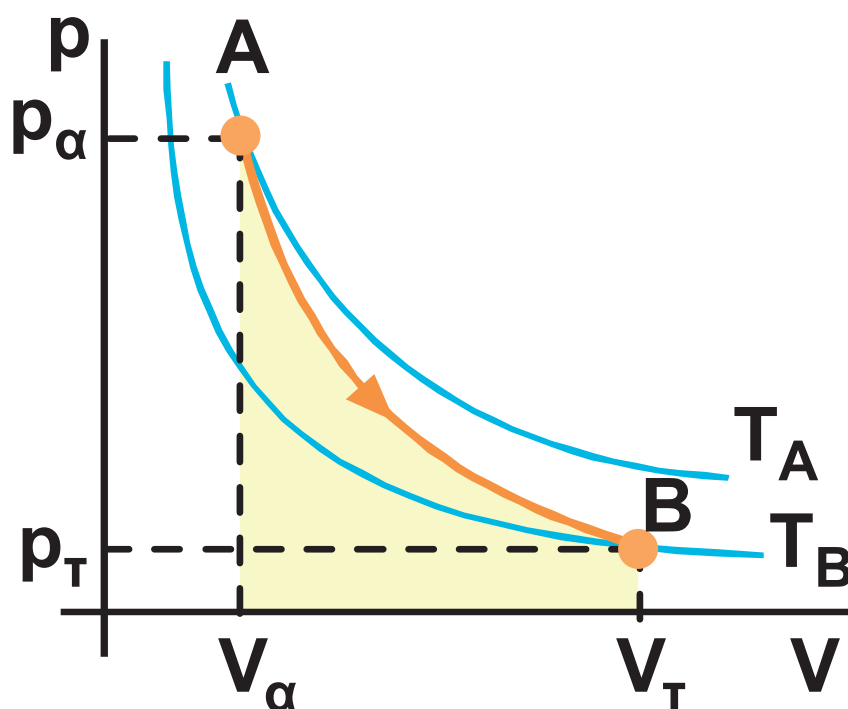
Στην αδιαβατική μεταβολή το έργο είναι ίσο με το αντίθετο της

μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας.

Επειδή στη μεταβολή που περιγράψαμε το έργο είναι θετικό, από τη σχέση (2.7) προκύπτει ότι η εσωτερική ενέργεια μειώνεται, επομένως το αέριο ψύχεται.

Το σχήμα 2.15 παριστάνει την αντιστρεπτή αδιαβατική μεταβολή που περιγράψαμε. Επειδή η τελική θερμοκρασία είναι μικρότερη από την αρχική, η καμπύλη της έχει μεγαλύτερη κλίση από την ισόθερμη που περνάει από το σημείο Α. Στην αδιαβατική μεταβολή το έργο μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση

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



Σχ. 2.15 Ένα αέριο εκτονώνεται αδιαβατικά από την αρχική κατάσταση A στην τελική κατάσταση B.

Στην πράξη όταν ένα αέριο συμπιέζεται (ή εκτονώνεται) πολύ γρήγορα, πολύ μικρό ποσό θερμότητας μετακινείται από το αέριο προς το περιβάλλον ή αντίστροφα. Η διεργασία αυτή είναι σχεδόν αδιαβατική. Τέτοιες διεργασίες συμβαίνουν στον κύλινδρο του βενζινοκινητήρα.

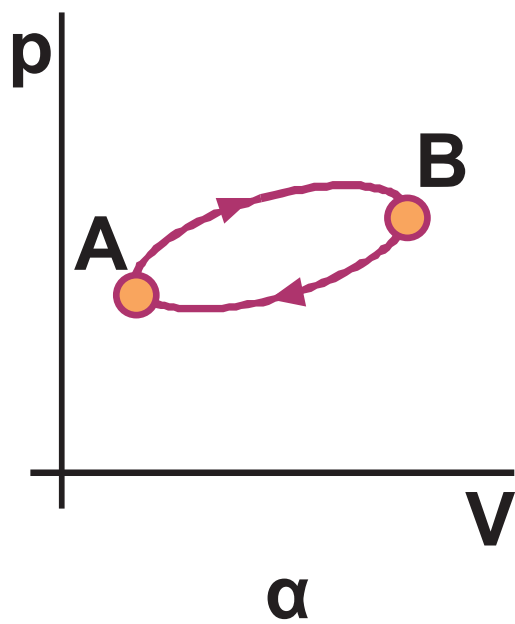
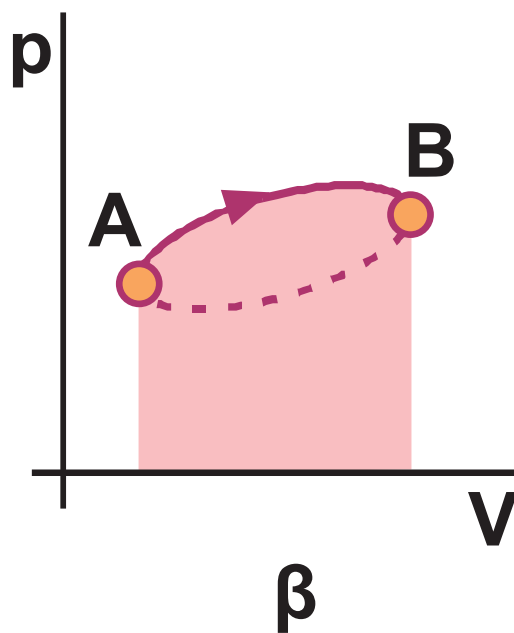
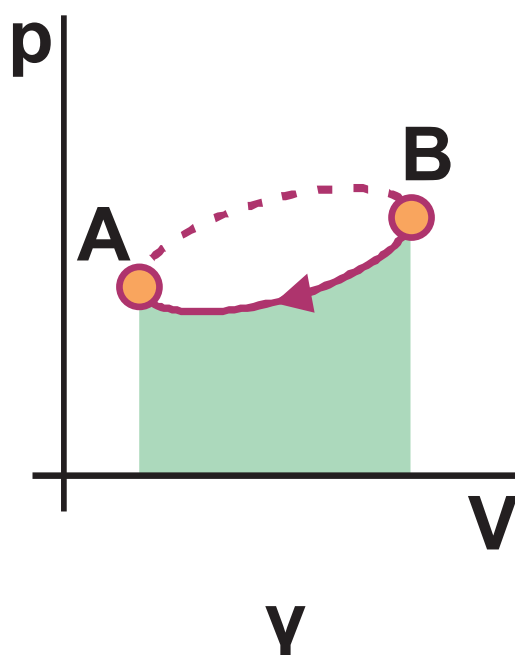
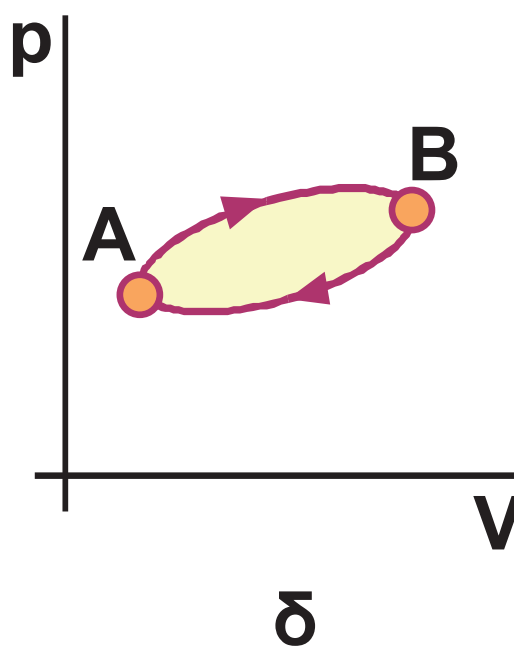
Ε) Κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή

Κυκλική ονομάζουμε μια μεταβολή στην οποία το σύστημα μετά από μια διεργασία επιστρέφει στην ίδια κατάσταση.

Το σχήμα 2.16 παριστάνει μια κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου. Το αέριο αρχικά βρισκόταν στην κατάσταση Α και μετά από μια διεργασία επιστρέφει πάλι στην αρχική κατάσταση Α.

Το έργο του αερίου μπορεί να υπολογιστεί ως εξής: Το έργο του αερίου κατά τη μεταβολή από το Α στο Β είναι ίσο με το εμβαδόν του τμήματος που είναι σκιασμένο με κόκκινο και είναι θετικό, γιατί το αέ-

ριο εκτονώνεται. Το έργο, κατά τη μεταβολή από το Β στο Α, είναι ίσο με το εμβαδόν του τμήματος που είναι σκιασμένο με πράσινο και είναι αρνητικό γιατί το αέριο συμπιέζεται. Το έργο του αερίου σε ολόκληρη την κυκλική μεταβολή που είναι το αλγεβρικό άθροισμα αυτών των έργων, είναι ίσο με το εμβαδόν που περικλείει η κλειστή γραμμή που περιγράφει τη μεταβολή.



Σχ. 2.16 Το σχήμα α παριστάνει γραφικά μια αντιστρεπτή κυκλική μεταβολή. Το εμβαδόν της χρωματισμένης επιφάνειας στο σχήμα β δίνει το έργο του αερίου κατά τη μεταβολή $A \rightarrow B$. Το έργο κατά τη μεταβολή $B \rightarrow A$ είναι κατ' απόλυτη τιμή ίσο με το εμβαδόν της χρωματισμένης επιφάνειας στο σχήμα γ, η αλγεβρική του τιμή όμως είναι αρνητική. Το συνολικό έργο προκύπτει αν από το εμβαδόν του σχήματος β αφαιρέσουμε το εμβαδόν του σχήματος γ. Από την αφαίρεση αυτή προκύπτει το εμβαδόν που περικλείει η γραμμή του διαγράμματος (σχ. δ).

Το ολικό έργο σε μια κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή είναι ίσο με το εμβαδόν που περικλείεται από τη γραμμή του διαγράμματος, στη γραφική παράσταση p - V .

Εάν η κυκλική μεταβολή διαγραφόταν κατά την αντίθετη φορά, για να υπολογίσουμε το έργο θα αφαιρούσαμε από το μικρό εμβαδόν το μεγάλο. Έτσι, το συνολικό έργο θα ήταν αρνητικό. Επομένως σε μια αντιστρεπτή κυκλική μεταβολή, το έργο είναι θετικό όταν η γραφική παράσταση της μεταβολής διαγράφεται με τη φορά των δεικτών του ρολογιού και αρνητικό όταν διαγράφεται με την αντίθετη φορά.

Επειδή το αέριο επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, η μεταβολή

στην εσωτερική του ενέργεια είναι μηδέν $\Delta U = 0$.

Εφαρμόζοντας τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο στην κυκλική μεταβολή έχουμε

$$Q = W$$

Στην κυκλική μεταβολή η θερμότητα που απορροφά ή αποδίδει το αέριο ισούται με το έργο που παράγει ή δαπανά.

2-10 ΓΡΑΜΜΟΜΟΡΙΑΚΕΣ ΕΙΔΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΕΣ ΑΕΡΙΩΝ

Έχει βρεθεί πειραματικά ότι το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός σώματος μάζας m , κατά ΔT δίνεται από τη σχέση:

$$Q = m c \Delta T \quad (2.8)$$

όπου c είναι η ειδική θερμότητα του υλικού. Στα υγρά και στα στερεά η ειδική θερμότητα του σώματος εξαρτάται μόνο από το υλικό του.

Αν αντί για τη μάζα του σώματος χρησιμοποιήσουμε την ποσότητά του σε mol, επειδή $m = n M$, όπου M η γραμμομοριακή μάζα, μπορούμε να γράψουμε τη σχέση (2.8) με τη μορφή:

$$Q = n M c \Delta T \quad (2.9)$$

Το γινόμενο $M c$ ονομάζεται γραμμομοριακή ειδική θερμότητα και συμβολίζεται με C . Αντικαθιστώντας το γινόμενο $M c$ με το C η σχέση (2.9) γίνεται:

$$Q = n C \Delta T$$

Η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα C , στο SI, μετριέται σε $J / (mol K)$ και εκφράζει το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί σε $1 mol$ του σώματος για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό.

Ενώ η ειδική θερμότητα στα υγρά και στα στερεά εξαρτάται μόνο από το υλικό, στα αέρια η γραμμομοριακή

ειδική θερμότητα εξαρτάται και από τον τρόπο με τον οποίο θερμαίνεται το αέριο.

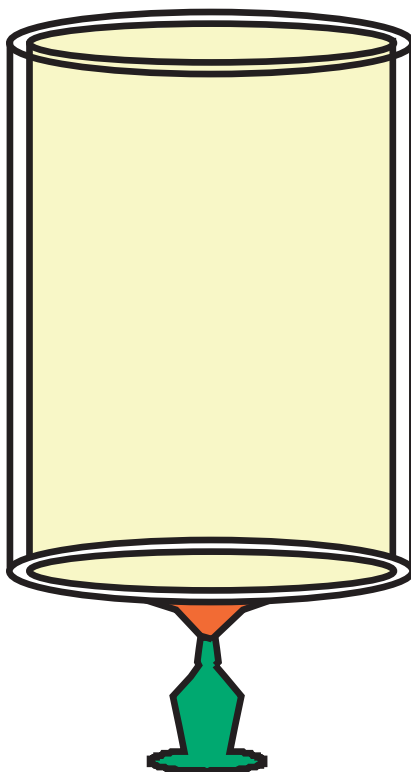
Από όλους του δυνατούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να θερμανθεί ένα αέριο, και τις αντίστοιχες γραμμομοριακές ειδικές θερμότητες που προκύπτουν, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν δύο, η θέρμανση με σταθερό όγκο και η θέρμανση με σταθερή πίεση.

Θέρμανση αερίου με σταθερό όγκο

Το αέριο του σχήματος 2.17 βρίσκεται μέσα σε δοχείο σταθερού όγκου και θερμαίνεται ώστε η θερμοκρασία του να αυξηθεί κατά ΔT . Αν συμβολίσουμε με Q_V το ποσό θερμότητας που απορροφά το αέριο και με C_V τη γραμμομοριακή ει-

δική θερμότητα κατά την ισόχωρη
αυτή θέρμανση έχουμε

$$Q_v = n C_v \Delta T \quad (2.10)$$



Σχ. 2.17 Θέρμανση αερίου με στα-
θερό όγκο. Ο πυθμένας του δοχείου
είναι διαθερμικός, επιτρέπει δηλα-
δή τη μεταφορά θερμότητας από την
εστία θέρμανσης στο αέριο.

Αφού ο όγκος του αερίου δε μεταβάλλεται το έργο του αερίου είναι μηδέν. Εφαρμόζοντας τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο έχουμε:

$$Q_v = \Delta U \quad (2.11)$$

Η σχέση (2.11), λόγω της (2.10), γίνεται

$$\Delta U = n C_v \Delta T \quad (2.12)$$

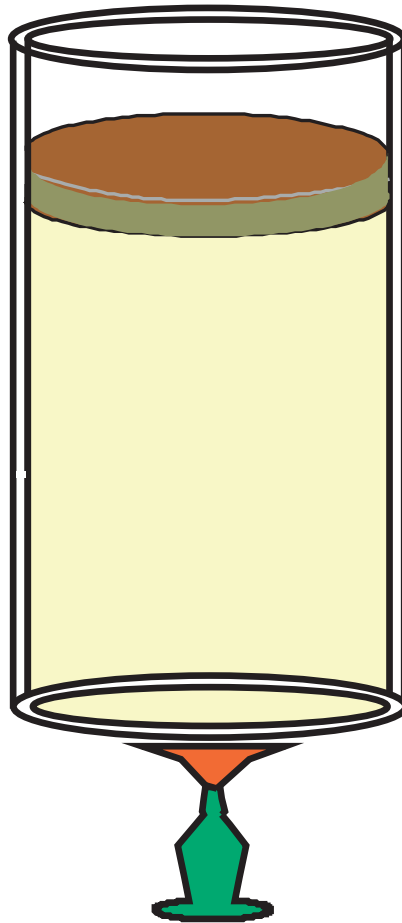
Πρέπει να τονιστεί ότι επειδή η εσωτερική ενέργεια ενός αερίου εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική θερμοκρασία του αερίου η σχέση (2.12) δίνει τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας σε κάθε περίπτωση που η θερμοκρασία ενός αερίου μεταβάλλεται κατά ΔT , με όποιον τρόπο και αν πραγματοποιη-

είται αυτή η μεταβολή.

Θέρμανση αερίου με σταθερή πίεση

Έστω ότι η ίδια ποσότητα αερίου θερμαίνεται ισοβαρώς (σχ. 2.18) ώστε η θερμοκρασία του να μεταβληθεί κατά το ίδιο ποσό ΔT . Αν συμβολίσουμε με Q_p και C_p τη θερμότητα και τη γραμμομοριακή ειδική θερμότητα του αερίου στην ισοβαρή θέρμανση, μπορούμε να γράψουμε:

$$Q_p = n C_p \Delta T$$



Σχ. 2.18 Θέρμανση αερίου με σταθερή πίεση.

Το έργο που παράγει το αέριο είναι $W = p \Delta V$.

Από την καταστατική εξίσωση έχουμε $p \Delta V = n R \Delta T$, οπότε η σχέση που δίνει το έργο γίνεται

$$W = n R \Delta T \quad (2.13)$$

Από τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο $Q = \Delta U + W$, αν λάβουμε υπόψη τις (2.12) και (2.13), προκύπτει

$$n C_p \Delta T = n C_v \Delta T + n R \Delta T$$

ή

$$C_p = C_v + R \quad (2.14)$$

Η σχέση 2.14 δείχνει ότι η C_p είναι μεγαλύτερη από τη C_v κατά την ποσότητα R .

Υπολογισμός των C_p και C_v

Η εσωτερική ενέργεια ιδανικού αερίου δίνεται από τη σχέση

$$U = \frac{3}{2} n R T.$$

Όταν η θερμοκρασία του αερίου

μεταβάλλεται κατά ΔT η εσωτερική του ενέργεια μεταβάλλεται κατά

$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T.$$

Από τη σχέση (2.12) προκύπτει

$$n C_V \Delta T = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

άρα

$$C_V = \frac{3}{2} R = 12,47 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad (2.15)$$

Για τη C_p ισχύει:

$$C_p = C_V + R = \frac{3}{2} R + R$$

οπότε

$$C_p = \frac{5}{2} R = 20,78 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad (2.16)$$

Η ποσότητα γ που συναντήσαμε στο νόμο της αδιαβατικής μεταβολής είναι ο λόγος των δύο γραμμομοριακών ειδικών θερμοτήτων.

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

το γ είναι καθαρός αριθμός μεγαλύτερος της μονάδας και στα ιδανικά αέρια σύμφωνα με τις σχέσεις (2.15) και (2.16) έχει την τιμή $\gamma = \frac{5}{3}$.

Για τα πραγματικά αέρια η τιμή του λόγου $\frac{C_p}{C_v}$ εξαρτάται από την ατομικότητά του και το είδος των δεσμών που συγκρατούν τα άτομα στο μόριο.

Ο πίνακας που ακολουθεί δίνει τις γραμμομοριακές ειδικές θερμότητες ορισμένων αερίων όπως μετρήθηκαν πειραματικά.

Τύπος αερίου	Αέριο	C_V (J/mol·K)
Μονοατομικό	He	12,47
	A	12,47
Διατομικό	H ₂	20,42
	N ₂	20,76
	O ₂	20,85
	CO	20,85
Πολυατομικό	CO ₂	28,46
	SO ₂	31,39
	H ₂ S	25,95

C_p (J/mol·K)	$C_p - C_v$ (J/mol·K)	$\gamma = C_p / C_v$
20,78	8,31	1,67
20,78	8,31	1,67
28,74	8,32	1,41
29,07	8,31	1,4
29,17	8,31	1,4
29,16	8,31	1,4
36,94	8,48	1,3
40,37	8,98	1,29
34,6	8,65	1,33

Παρατηρούμε ότι η θεωρητική πρόβλεψη για τα C_V και C_p με βάση το ιδανικό αέριο, συμφωνεί απόλυτα με τα πειραματικά δεδομένα αν πρόκειται για μονοατομικό αέριο, ενώ αποκλίνει αισθητά για τα διατομικά και πολυατομικά αέρια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ τα μόρια των μονοατομικών αερίων προσεγγίζουν το μοντέλο του ιδανικού αερίου τα μόρια που αποτελούνται από περισσότερα άτομα εμφανίζουν δομή που δεν γίνεται να αγνοηθεί.

Πιο συγκεκριμένα, στο ιδανικό αέριο θεωρήσαμε τα μόρια υλικά σημεία, οπότε η μόνη δυνατότητα κίνησης είναι η μεταφορική κίνηση και υπολογίσαμε την εσωτερική του ενέργεια ως το άθροισμα των μεταφορικών κινητικών ενεργειών

των μορίων του. Τα διατομικά μόρια, όπως τα μόρια του N_2 και του O_2 πρέπει να θεωρηθούν ότι αποτελούνται από δύο σωματίδια συνδεδεμένα μεταξύ τους. Εκτός από τη δυνατότητα που έχει ένα τέτοιο μόριο να κάνει μεταφορική κίνηση, τα σωματίδια που το αποτελούν έχουν τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το κοινό κέντρο μάζας τους και, κάτω από ορισμένες συνθήκες (υψηλή θερμοκρασία), να ταλαντώνονται. Όλες αυτές οι κινήσεις συνεισφέρουν στην εσωτερική ενέργεια. Έτσι, αν θέλαμε να κάνουμε πιο ακριβείς υπολογισμούς όταν υπολογίζουμε την εσωτερική ενέργεια θα έπρεπε για τέτοια αέρια (διατομικά - τριατομικά) να λάβουμε υπόψη όλες τις κινήσεις. Η κινητική θεωρία ερμηνεύει τη συμπεριφορά

και τέτοιων - πολυατομικών αερίων. Η μελέτη αυτή όμως ξεφεύγει από τους σκοπούς αυτού του βιβλίου.

Όμως, όπως φαίνεται στον πίνακα, ακόμα και σ' αυτές τις περιπτώσεις (διατομικά ή πολυατομικά μόρια) η διαφορά $C_p - C_v$ συμφωνεί, με μεγάλη προσέγγιση, με τη σχέση 2.14.

2-11 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

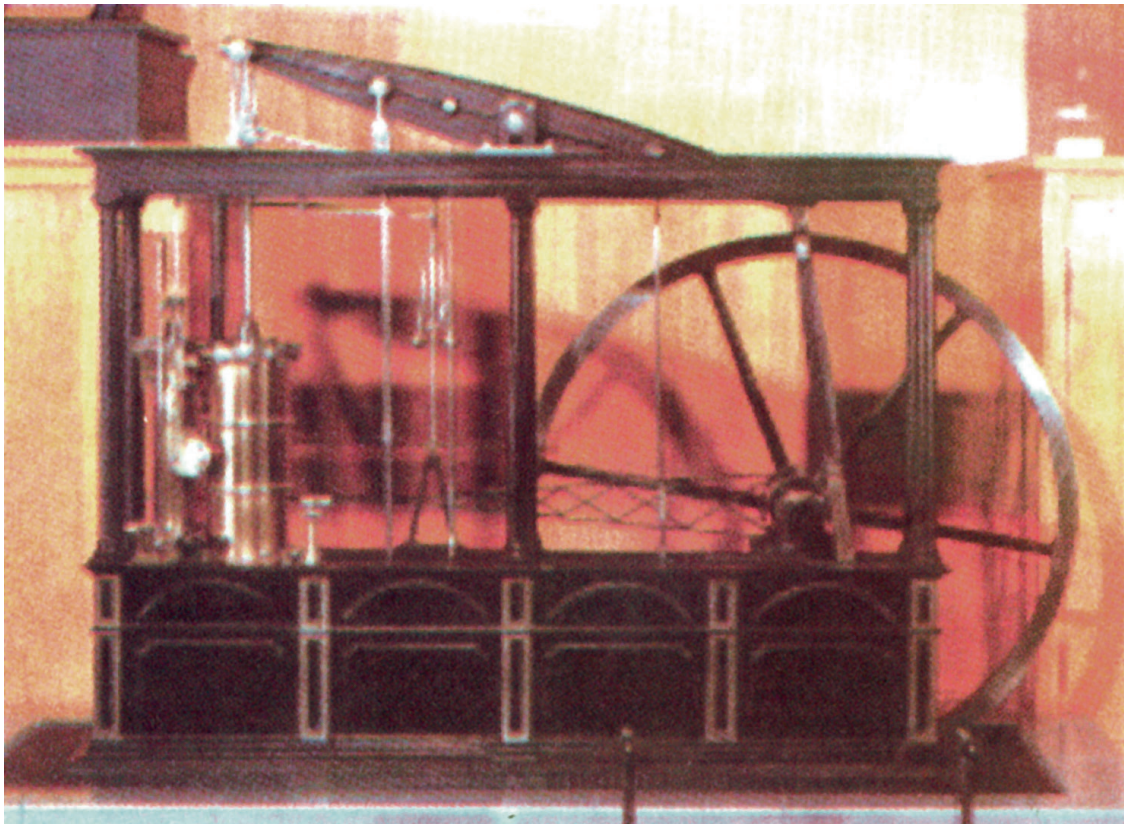
Θερμικές μηχανές ονομάζουμε τις διατάξεις που μετατρέπουν τη θερμότητα σε μηχανικό έργο.

Η ιστορία των μηχανών αυτών αρχίζει το 1712 όταν ο Thomas Newcomen (Τόμας Νιουκάμεν) επινόησε την πρώτη ατμομηχανή. Η ατμομηχανή του Newcomen

ήταν αρκετά χοντροκομμένη και χρησιμοποιήθηκε για την άντληση νερού από τα ορυχεία. Το 1769 ο Watt, βελτίωσε την μηχανή του Newcomen και παρουσίασε μια μηχανή για πολλές χρήσεις. Η εφεύρεση της ατμομηχανής και στη συνέχεια η διάδοση της χρήσης της είχε ως αποτέλεσμα βαθιές αλλαγές στη ζωή των ανθρώπων και στις κοινωνικές δομές. Η περίοδος που ακολούθησε ονομάστηκε βιομηχανική επανάσταση.

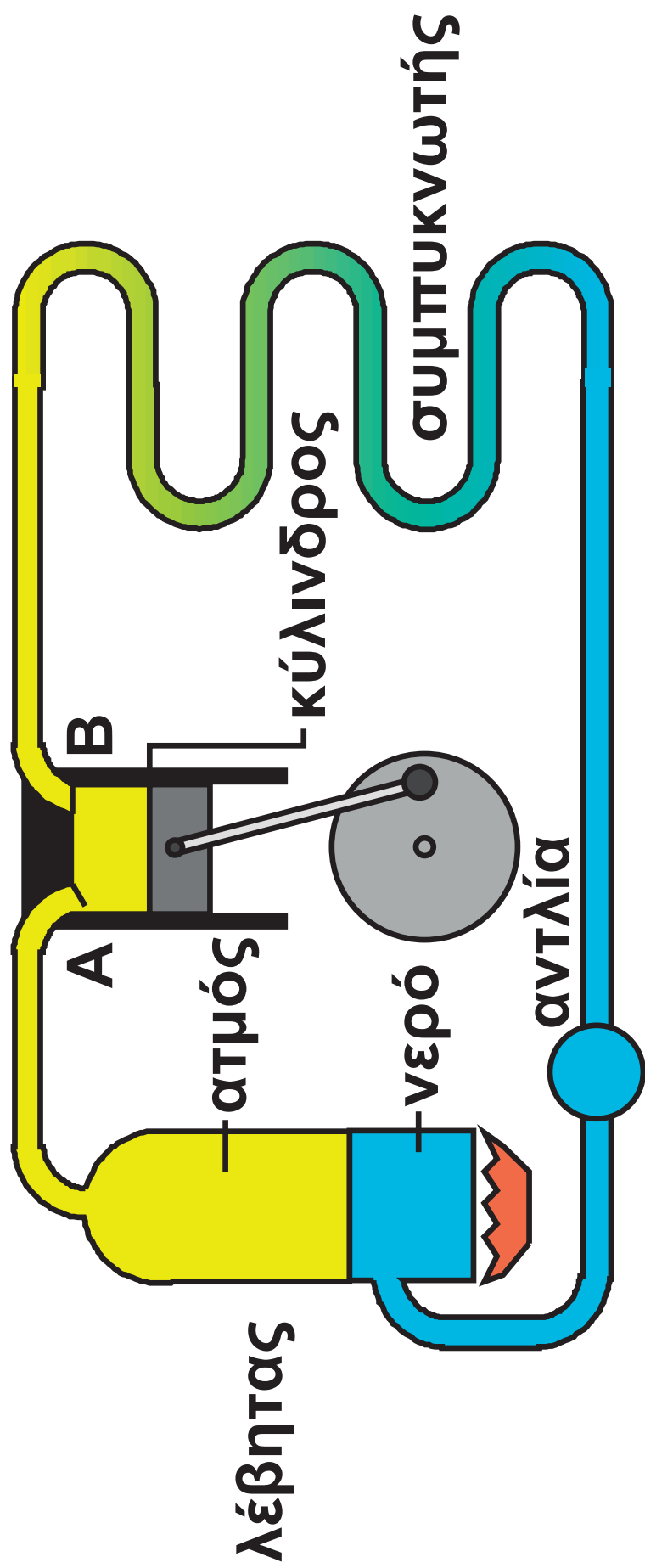
Από την εποχή του Newcomen και του Watt μέχρι σήμερα οι θερμικές μηχανές έκαναν μεγάλο δρόμο. Οι ατμομηχανές τελειοποιήθηκαν, επινοήθηκαν νέες θερμικές μηχανές, όπως οι μηχανές ντίζελ, οι βενζινοκινητήρες, οι αεροστρόβιλοι που χρησιμοποιούνται στα αεροπλάνα

και οι ατμοστρόβιλοι που χρησιμοποιούνται στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιούμε σήμερα σχετίζεται με τη χρήση των θερμικών μηχανών.



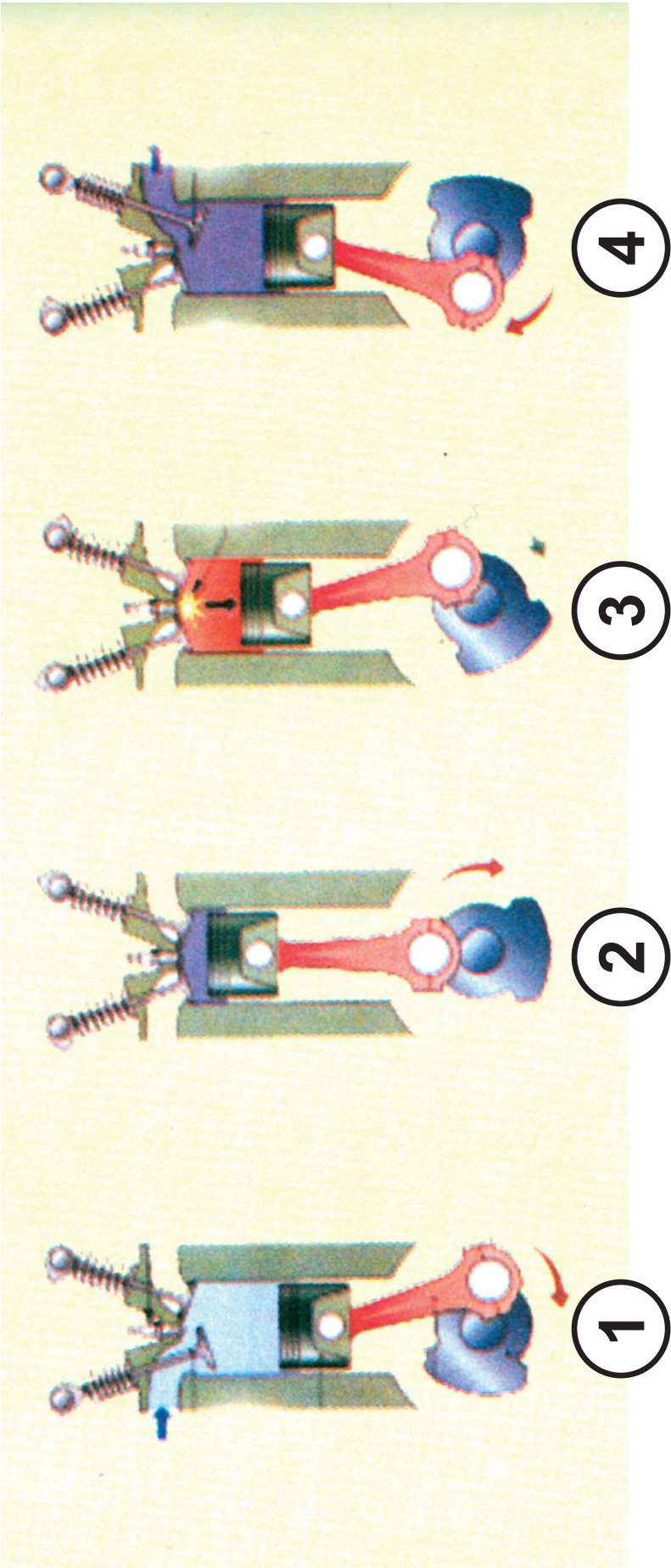
Εικ. 2.3 Η ατμομηχανή του Watt.

Το σχήμα 2.19 παριστάνει το μοντέλο μιας ατμομηχανής. Στο λέβητα παράγεται θερμός ατμός υψηλής πίεσης, ο οποίος -μέσω της βαλβίδας A (βαλβίδα εισαγωγής)- διοχετεύεται στον κύλινδρο, σπρώχνει το έμβολο και παράγει έργο. Καθώς ο ατμός εκτονώνεται μέσα στον κύλινδρο, η πίεση και η θερμοκρασία του ελαττώνονται. Στη συνέχεια ο ατμός που τώρα έχει χαμηλή πίεση αποβάλλεται από τον κύλινδρο, από τη βαλβίδα B (βαλβίδα εξαγωγής), και διοχετεύεται σε μια διάταξη που ονομάζεται συμπυκνωτής. Εκεί ο ατμός ψύχεται με τρεχούμενο νερό ή από τον αέρα και συμπυκνώνεται πάλι σε νερό. Το νερό οδηγείται πίσω στο λέβητα.



Σχ. 2.19 Αρχή λειτουργίας της ατμομηχανής.

Στους βενζινοκινητήρες, τα θερμά αέρια που παράγονται από την καύση της βενζίνης με τον αέρα σπρώχνουν το έμβολο του κυλίνδρου και παράγουν έργο. Στη συνέχεια αποβάλλονται από τον κύλινδρο και μέσω της εξάτμισης διοχετεύονται στο περιβάλλον.



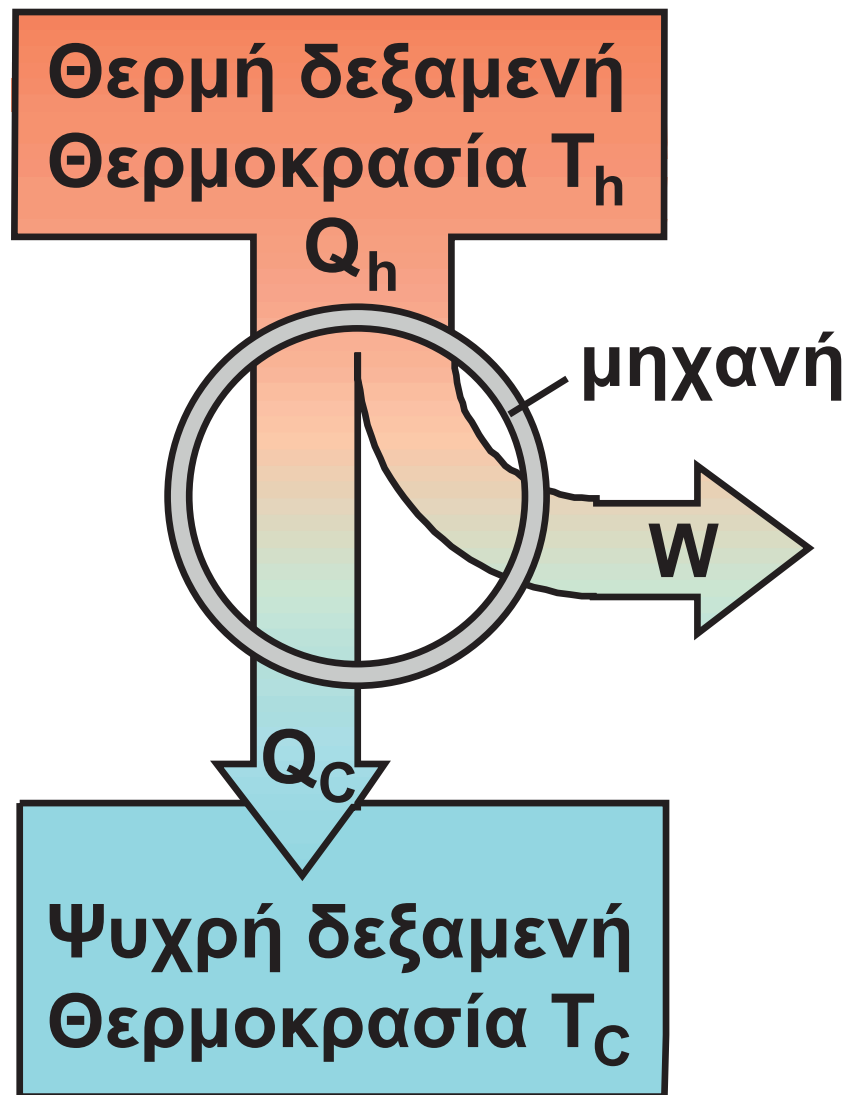
Εικ. 2.4 Κύκλος βενζινοκινητήρα τεσσάρων χρόνων.

(1) Το έμβολο κατεβαίνει. Η βαλβίδα εισόδου είναι ανοικτή, μίγμα βενζίνης - αέρα γεμίζει τον κύλινδρο.

(2) Το έμβολο ανεβαίνει. Οι βαλβίδες είναι κλειστές και το μίγμα συμπιέζεται. (3) Το μίγμα αναφλέγεται με το σπινθήρα που προκαλεί το μπουζί και τα αέρια της καύσης απωθούν βίαια το έμβολο προς τα κάτω.

(4) Το έμβολο ανεβαίνει. Η βαλβίδα εξαγωγής είναι ανοικτή και τα καυσάερια απομακρύνονται από τον κύλινδρο.

Σχηματικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η θερμική μηχανή είναι μια διάταξη που υποβάλλει ένα «μέσον» σε μια μεταβολή. Επειδή η μηχανή μετατρέπει συνεχώς τη θερμότητα σε έργο πρέπει η μεταβολή στην οποία υποβάλλεται το μέσον να είναι κυκλική, ώστε, όταν ολοκληρωθεί η μεταβολή, η μηχανή να επιστρέφει στην αρχική της κατάσταση και να επαναλάβει την ίδια διαδικασία ξανά και ξανά. Στην ατμομηχανή το υλικό που υποβάλλεται στην κυκλική διεργασία είναι ο ατμός. Το νερό αφού γίνει ατμός και ολοκληρώσει την πορεία του μέσω του κυλίνδρου και του συμπυκνωτή επιστρέφει στο λέβητα στις ίδιες συνθήκες.



Σχ. 2.20 Αρχή λειτουργίας μιας θερμικής μηχανής. Η κυκλική περιοχή συμβολίζει τη μηχανή η οποία δέχεται ποσό θερμότητας Q_h από τη θερμή δεξαμενή, παράγει έργο W και αποβάλλει ποσό θερμότητας Q_c στην ψυχρή δεξαμενή.

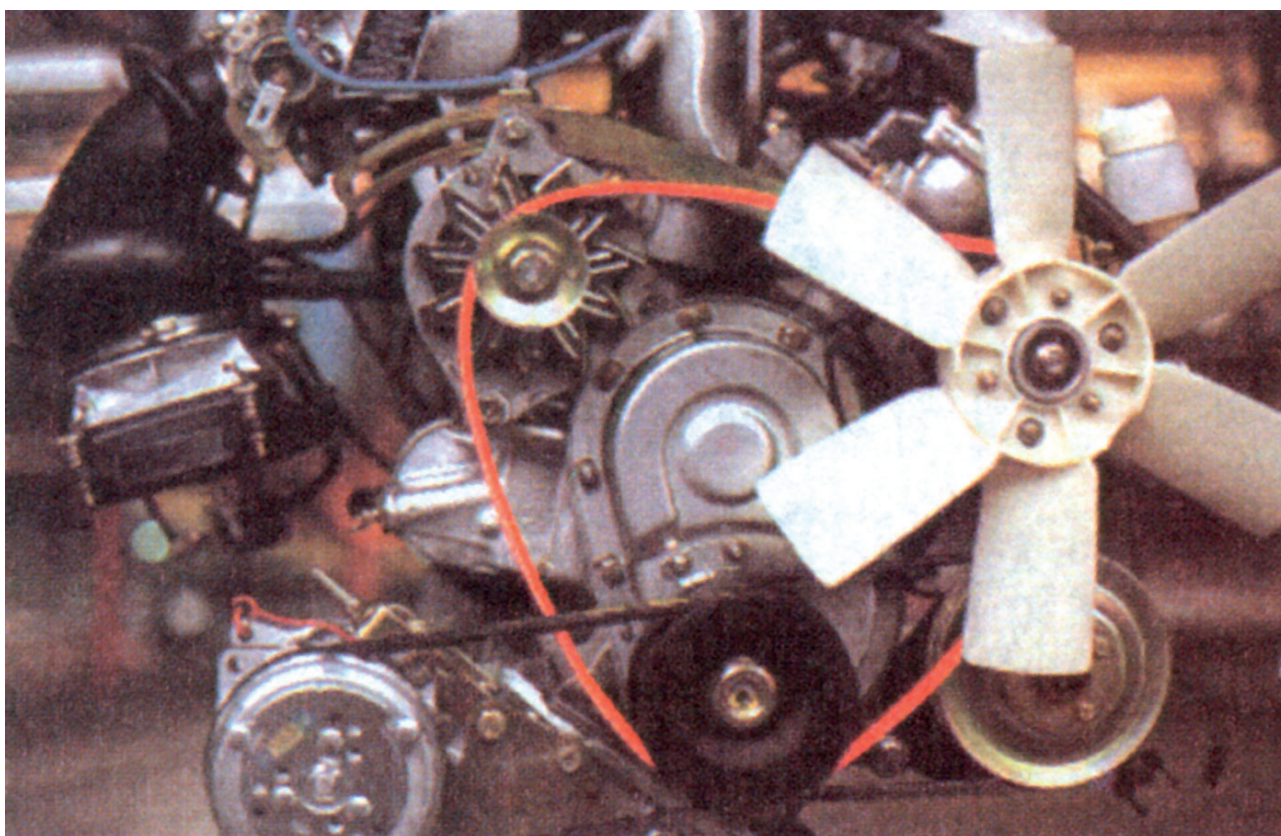
Κατά τη διάρκεια της κυκλικής μεταβολής του μέσου, η μηχανή

- 1. απορροφά θερμότητα (Q_h) από μια δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας T_h .**
- 2. παράγει έργο.**
- 3. αποβάλλει θερμότητα (Q_c) σε μια δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας T_c .**

Προηγουμένως χρησιμοποιήσαμε τον όρο **δεξαμενή θερμότητας**. Έτσι συνηθίζουμε να λέμε ένα σώμα που παραμένει σε σταθερή θερμοκρασία ακόμη κι αν παίρνει ή δίνει θερμότητα. Στην ατμομηχανή δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας είναι ο λέβητας, του οποίου η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή μέσω της ελεγχόμενης καύσης κάποιου

καυσίμου, ενώ δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας είναι ο συμπυκνωτής, ο οποίος βρίσκεται σε επαφή ή με την ατμόσφαιρα ή με μια μάζα νερού, οπότε η θερμοκρασία του διατηρείται επίσης σταθερή. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης το καί-
όμενο υγρό καύσιμο μέσα στο θά-
λαμο καύσης -κύλινδρο- είναι η δε-
ξαμενή υψηλής θερμοκρασίας και
το περιβάλλον, όπου διοχετεύονται
τα καυσαέρια, η δεξαμενή χαμηλής
θερμοκρασίας.

**Ο συντελεστής απόδοσης (e)
οποιασδήποτε μηχανής είναι ο
λόγος του ωφέλιμου έργου που
μας δίνει η μηχανή προς την
ενέργεια που δαπανούμε για να
λειτουργήσει.**



Εικ. 2.5 Βενζινοκινητήρας αυτοκινή- του.

Στη θερμική μηχανή η ενέργεια που δαπανούμε είναι η θερμότητα Q_h με την οποία τροφοδοτούμε τη μηχανή από τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας.

Επομένως
$$e = \frac{W}{Q_h} \quad (2.17)$$

Το καθαρό ποσό θερμότητας Q που απορροφά το μέσον είναι το ποσό θερμότητας που παίρνει από τη δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας μείον αυτό που αποβάλλει στη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας, $Q_h - |Q_c|$. Στην κυκλική μεταβολή το έργο που παράγει το αέριο ισούται με το καθαρό ποσό θερμότητας που απορροφά δηλαδή $W = Q_h - |Q_c|$. Αντικαθιστώντας στη (2.17) βρίσκουμε

$$e = \frac{Q_h - |Q_c|}{Q_h} \quad \text{ή} \quad e = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h} \quad (2.18)$$

Οι ατμομηχανές έχουν απόδοση έως 18%, ενώ στις ατμομηχανές που είναι εφοδιασμένες με στρόβιλο, αντί για κύλινδρο και έμβολο, η

απόδοση φτάνει μέχρι και 40%. Οι βενζινομηχανές έχουν απόδοση περίπου 20%, ενώ οι μηχανές ντίζελ από 35% έως 40%.

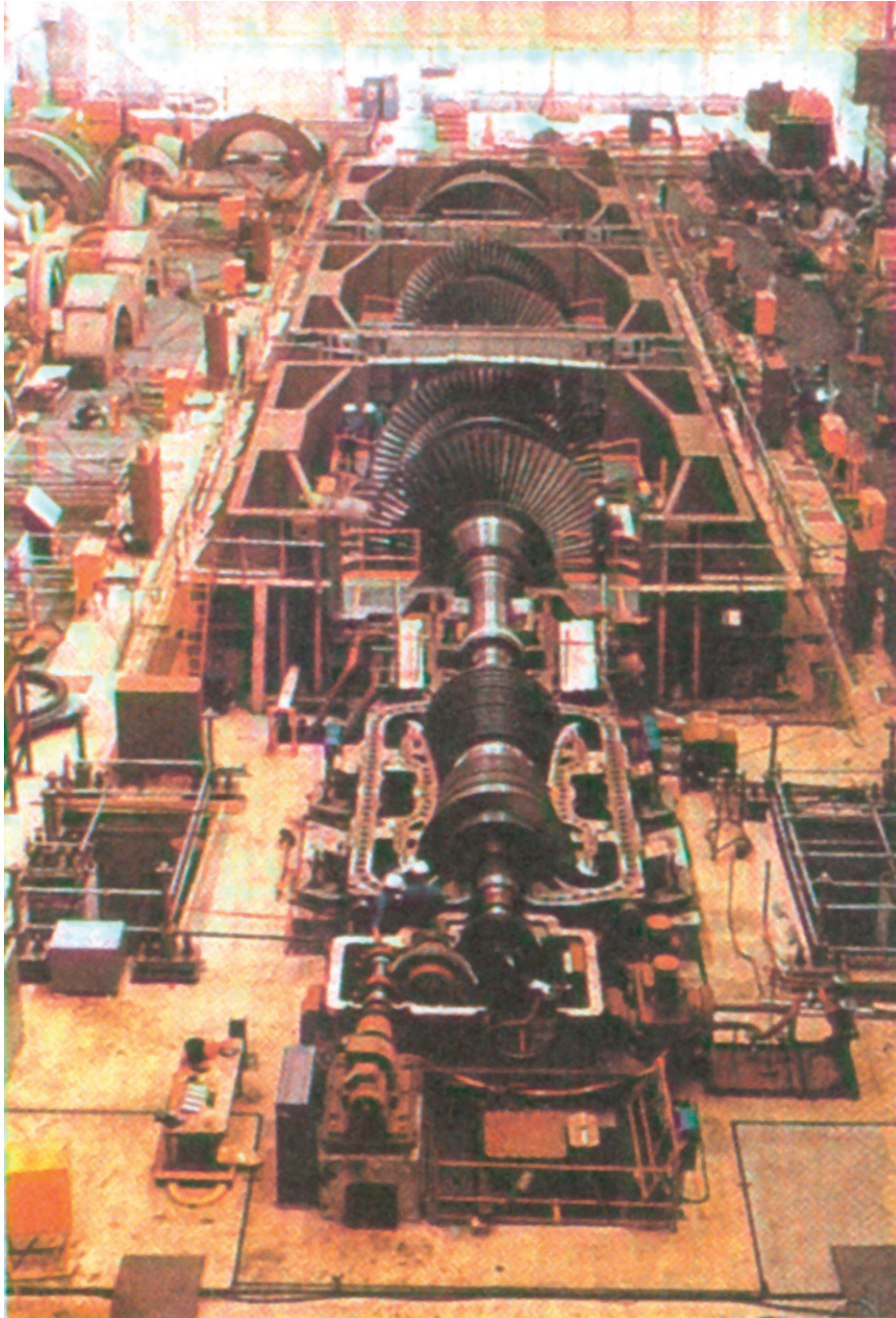
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.1

Μηχανή εσωτερικής καύσης καταναλώνει σε κάθε κύκλο λειτουργίας της θερμότητα 5000 J και αποβάλλει στην εξάτμιση θερμότητα 3500 J. Υπολογίστε το συντελεστή απόδοσης της μηχανής.

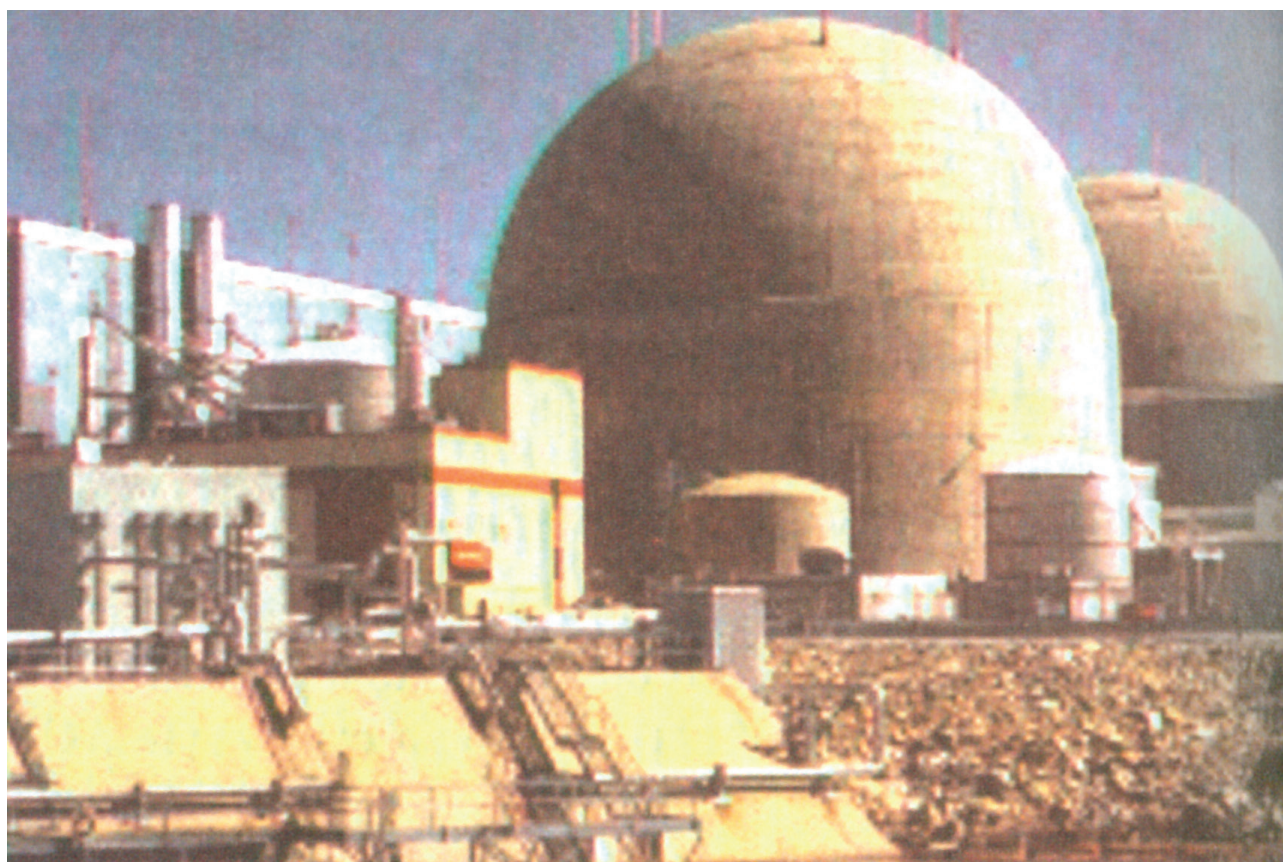
Απάντηση:

Ο συντελεστής απόδοσης μιας μηχανής δίνεται από τη σχέση (2.18)

$$e = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h} = 1 - \frac{3500 \text{ J}}{5000 \text{ J}} = 0,3 \quad \text{ή} \quad 30\%$$



Εικ. 2.6 Ατμοστρόβιλος σε εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικ. 2.7 Πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Βιρτζίνια των Η.Π.Α. Παράγει ηλεκτρική ισχύ 900 MW και ταυτόχρονα αποβάλλει στο κοντινό ποτάμι θερμότητα με ρυθμό 2100 MW. Το εργοστάσιο αυτό όπως και τα υπόλοιπα του είδους του «πετάει» πολύ περισσότερη ενέργεια από όση αποδίδει σε χρήσιμη μορφή.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.2

Θερμική μηχανή έχει απόδοση 25%, και σε κάθε κύκλο παράγει ωφέλιμο έργο 2000 J. Υπολογίστε τη θερμότητα που δαπανάται για κάθε κύκλο λειτουργίας της μηχανής.

Απάντηση:

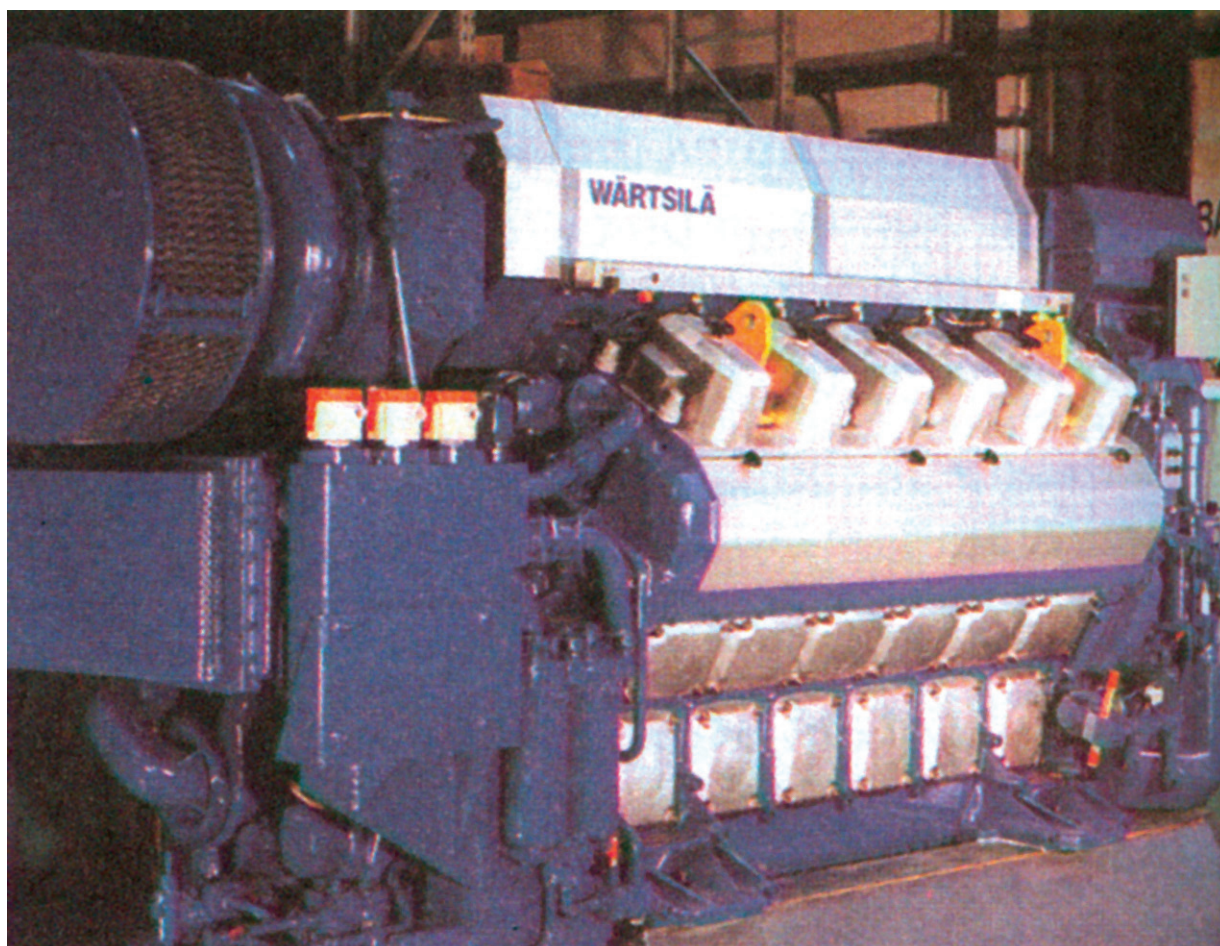
Ο συντελεστής απόδοσης μιας μηχανής δίνεται από τη σχέση (2.17)

$$e = \frac{W}{Q_h} \text{ άρα } Q_h = \frac{W}{e} = \frac{2000 \text{ J}}{0,25} = 8000 \text{ J}$$

Για τη λειτουργία της μηχανής δαπανάται θερμότητα 8000 J σε κάθε κύκλο.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.3

Ο κινητήρας Diesel της εικόνας χρησιμοποιείται σε μικρά φορτηγά πλοία. Ο συντελεστής απόδοσης ενός τέτοιου κινητήρα είναι 0,25. Το πλοίο που τον φέρει ταξιδεύει με 15 κόμβους. Οι δεξαμενές του πλοίου περιέχουν 150 τόνους καυσίμου. Ποια απόσταση μπορεί να διανύσει το πλοίο με αυτά τα καύσιμα;
[1 κόμβος = 1 ναυτικό μίλι/h = 1852 m/h. 1 kg καυσίμου αποδίδει κατά την καύση του 39800 kJ].



**Εικ. 2.8 Φινλανδικός κινητήρας
Diesel Wartsila
12 κύλινδροι σε διάταξη V.
Εσωτερική διάμετρος κυλίνδρου:
200 mm.
Διαδρομή εμβόλου: 240 mm.
Κυλινδρισμός: 7,54 L ανά κύλινδρο.
Ισχύς: 220 kW ανά κύλινδρο για τα-
χύτητα 15 κόμβων.**

Απάντηση:

Ο κινητήρας αποδίδει ισχύ

$$P = 12 \times 220 \text{ kW} = 2640 \text{ kW}$$

Η απόδοση του κινητήρα είναι ο λόγος της μηχανικής ισχύος (P) που αποδίδει ο κινητήρας κατά τη λειτουργία του προς την θερμική ισχύ (P_h) που παίρνει κατά την καύση του καυσίμου.

$$e = \frac{P}{P_h} \quad \text{οπότε} \quad P_h = \frac{P}{e} = 10560 \text{ kW}$$

Από τα καύσιμα, σε χρονικό διάστημα $\Delta t = 1 \text{ h}$ αποδίδεται θερμότητα

$$Q_h = P_h \Delta t = 10.560 \text{ kW} \cdot 3.600 \text{ s} = 38.016.000 \text{ kJ}$$

Η μάζα του καυσίμου που αποδίδει τόση θερμότητα κατά την καύση της είναι:

$$m = \frac{38.016.000 \text{ kJ}}{39.800 \text{ kJ/kg}} \approx 955 \text{ kg}$$

Σε μια ώρα το πλοίο διανύει
 $15 \text{ ν.μ./h} \times 1852 \text{ m/ν.μ.} \times 1 \text{ h} = 27780 \text{ m}$
 $= 27,78 \text{ km}$

Αφού με 955 kg καυσίμου το πλοίο
 διανύει 27,78 km με τους 150 τόνους
 θα διανύσει:

$$27,78 \text{ km} \frac{150000 \text{ kg}}{955 \text{ kg}} \approx 4363 \text{ km}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.4

Κύκλος Otto (βενζινοκινητήρας)

Το ιδανικό αέριο θερμικής μηχανής εκτελεί την κυκλική μεταβολή του σχήματος 2.21 που περιλαμβάνει τις πιο κάτω διαδοχικές μεταβολές.

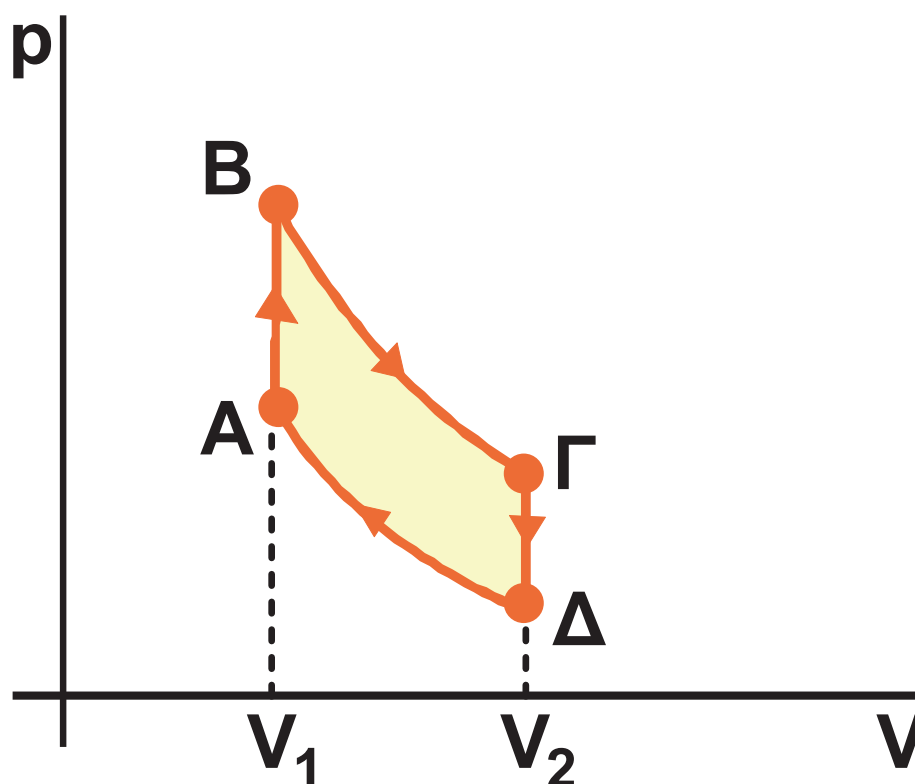
ΑΒ: ισόχωρη θέρμανση σε όγκο V_1 .

ΒΓ: αδιαβατική εκτόνωση.

ΓΔ: ισόχωρη ψύξη σε όγκο V_2 .

ΔΑ: αδιαβατική συμπίεση.

Να βρεθεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής.



Σχ. 2.21

Απάντηση:

$$Q_{AB} = nC_V (T_B - T_A)$$

$T_B > T_A$ οπότε $Q_{AB} > 0$ (απορροφάται από το σύστημα)

Η μεταβολή BΓ είναι αδιαβατική
οπότε $Q_{B\Gamma} = 0$

$$Q_{\Gamma\Delta} = nC_V (T_{\Delta} - T_{\Gamma})$$

$T_{\Delta} < T_{\Gamma}$ οπότε $Q_{\Gamma\Delta} < 0$ (αποδίδεται στο περιβάλλον)

Η μεταβολή ΔA είναι αδιαβατική
οπότε $Q_{\Delta A} = 0$

Η θερμότητα που απορροφάται συνολικά είναι $Q_h = Q_{AB} = nC_V (T_B - T_A)$

Η θερμότητα που αποδίδεται στο περιβάλλον είναι

$$Q_c = Q_{\Gamma\Delta} = nC_V (T_{\Delta} - T_{\Gamma})$$

και

$$|Q_c| = -nC_V (T_{\Delta} - T_{\Gamma}) = nC_V (T_{\Gamma} - T_{\Delta})$$

$$e = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - |Q_c|}{Q_h} = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h} =$$

$$= 1 - \frac{nC_V (T_{\Gamma} - T_{\Delta})}{nC_V (T_B - T_A)}$$

$$\text{οπότε} \quad e = 1 - \frac{T_{\Gamma} - T_{\Delta}}{T_B - T_A} \quad (2.19)$$

Από το νόμο του Poisson για την αδιαβατική μεταβολή $B \rightarrow \Gamma$ γνωρίζουμε ότι

$$p_B V_1^\gamma = p_\Gamma V_2^\gamma \quad (2.20)$$

Από την καταστατική εξίσωση προκύπτει $p_B = \frac{nRT_B}{V_1}$ και $p_\Gamma = \frac{nRT_\Gamma}{V_2}$

Αντικαθιστώντας στη (2.20) τα p_B και p_Γ με τα ίσα τους προκύπτει

$$T_B V_1^{\gamma-1} = T_\Gamma V_2^{\gamma-1} \quad (2.21)$$

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο προκύπτει επίσης

$$T_A V_1^{\gamma-1} = T_\Delta V_2^{\gamma-1} \quad (2.22)$$

Αφαιρώντας κατά μέλη τις (2.22) και (2.21) βρίσκουμε

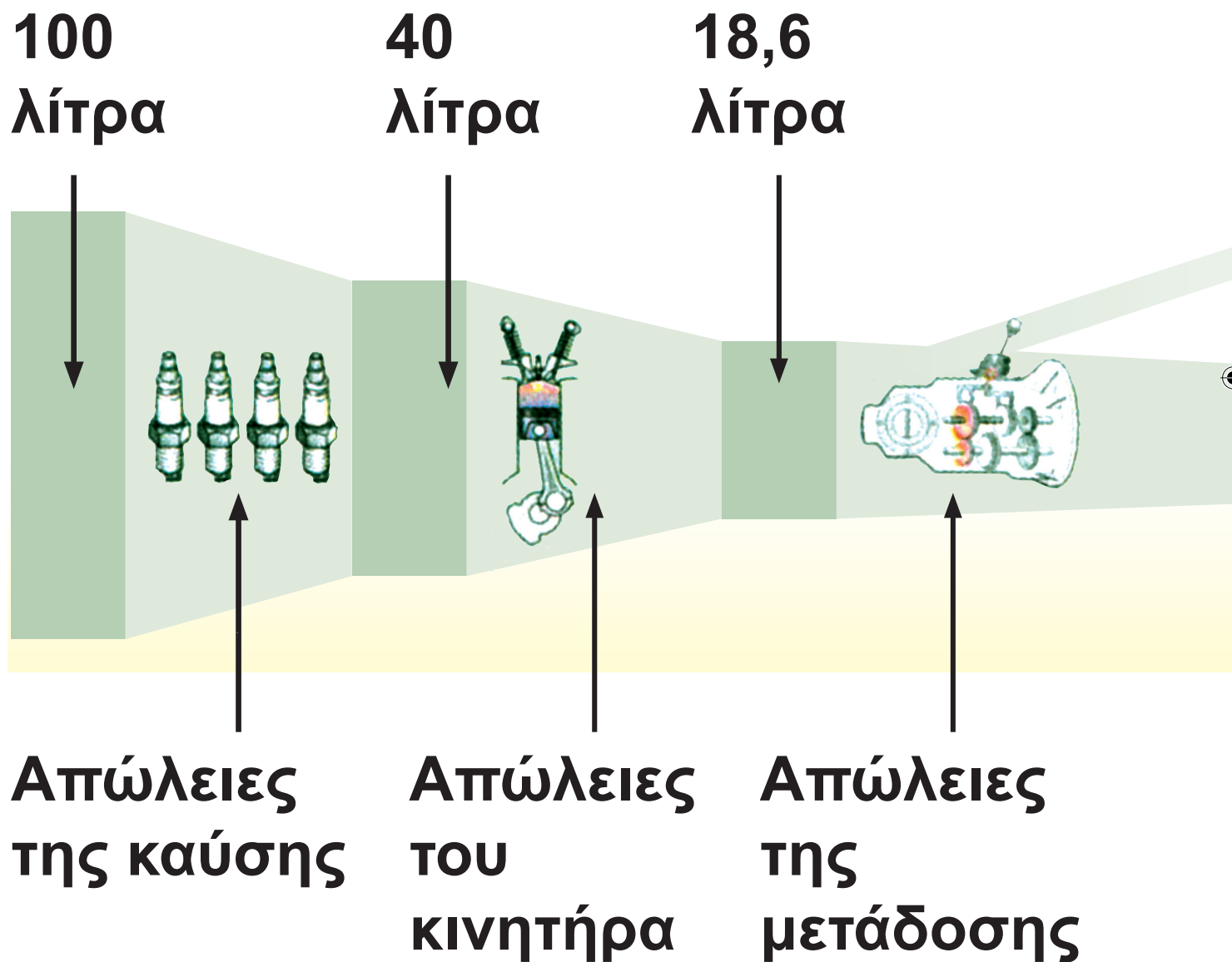
$$V_1^{\gamma-1} (T_B - T_A) = V_2^{\gamma-1} (T_\Gamma - T_\Delta)$$

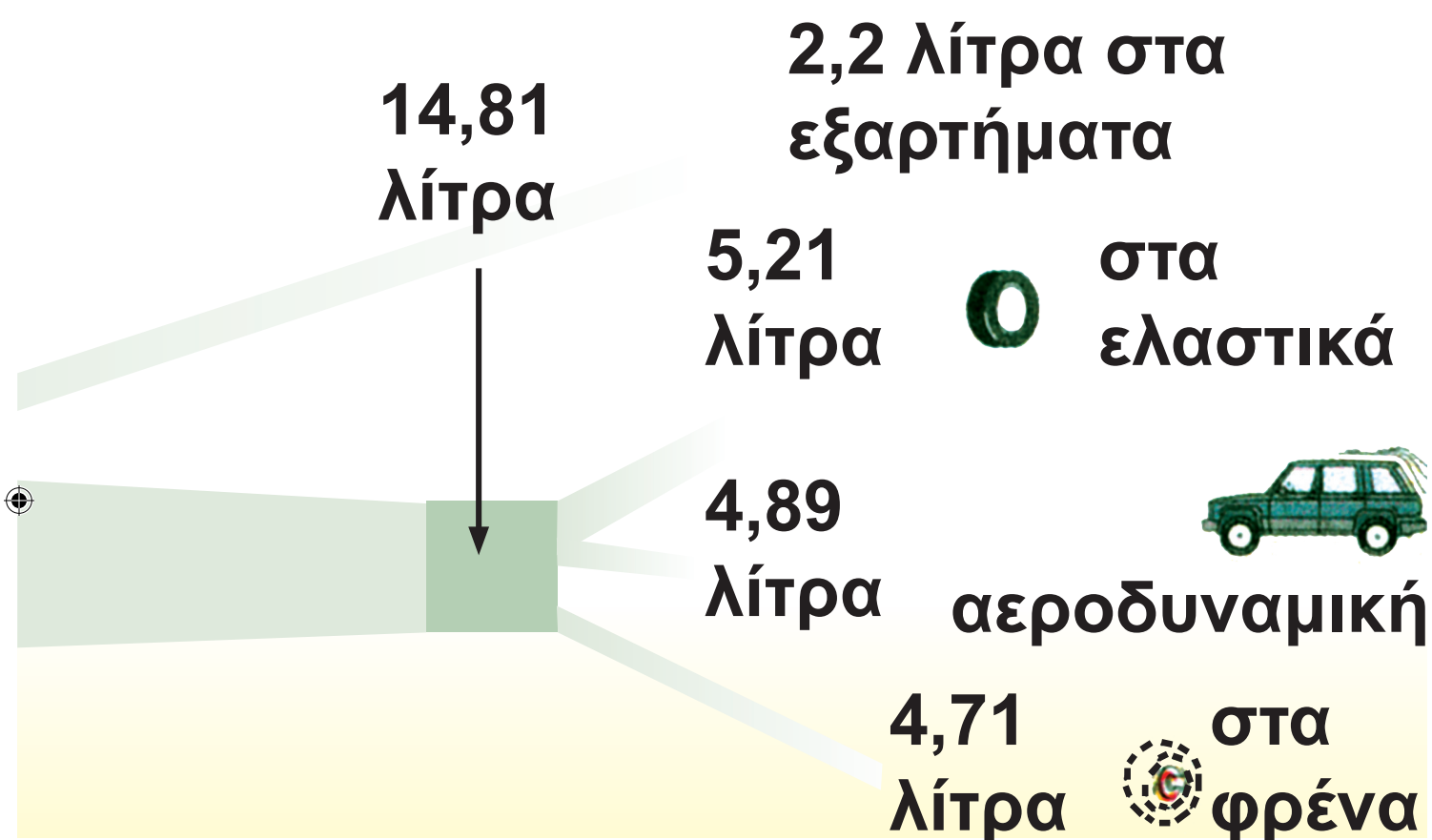
ή

$$\frac{T_\Gamma - T_\Delta}{T_B - T_A} = \frac{V_1^{\gamma-1}}{V_2^{\gamma-1}}$$

και τελικά από τη (2.19) προκύπτει

$$e = 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1}$$





Εικ. 2.9 Όταν ένα αυτοκίνητο κινείται, μόλις το ένα έκτο της ενέργειας που παρέχεται από το καύσιμο στη μηχανή αξιοποιείται για την προώθησή του.

2-12 Ο ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ

Η θερμοδυναμική έκανε τα πρώτα της βήματα στις αρχές του 19ου αιώνα, προσπαθώντας να δώσει λύση στα πρακτικά προβλήματα που επέβαλε η χρήση των θερμικών μηχανών. Όπως φαίνεται και από τη σχέση (2.18), ο συντελεστής απόδοσης μιας θερμικής μηχανής είναι μικρότερος από ένα. Θα ήταν ένα αν η μηχανή μετέτρεπε όλο το ποσό της θερμότητας σε ωφέλιμο έργο, ωστόσο κανένας δεν κατόρθωσε να κατασκευάσει μια τέτοια μηχανή. Όλες οι μηχανές εκμεταλλεύονται μόνο ένα μέρος της θερμότητας και αποβάλλουν σημαντικά ποσά θερμότητας στο περιβάλλον. Οι επανειλημμένες αποτυχίες των

ερευνητών να κατασκευάσουν την “τέλεια” θερμική μηχανή που θα μετέτρεπε πλήρως τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο έπεισαν ότι η αδυναμία οφείλεται σε περιορισμούς που θέτει η ίδια η φύση. Η διαπίστωση αυτή οδήγησε στη διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, από τους Kelvin και Planck (Κέλβιν και Πλανκ):

Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή που να μετατρέπει εξ ολοκλήρου τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο.

Μιλώντας για τη θερμότητα, είπαμε ότι, από μόνη της, μεταφέρεται πάντα από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα. Η αντίστροφη πορεία απαιτεί δαπάνη ενέργειας.

Το ψυγείο και το κλιματιστικό είναι μηχανήματα που αναγκάζουν τη θερμότητα να μεταφερθεί από ψυχρά σώματα σε θερμότερα. Το ψυγείο, για παράδειγμα, μεταφέρει θερμότητα από τα τρόφιμα στο περιβάλλον, που είναι θερμότερο. Όμως για τη λειτουργία αυτών των μηχανών δαπανούμε ενέργεια. Δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ψυγείο που να λειτουργεί χωρίς να δαπανάται ενέργεια. Αυτή η διαπίστωση οδήγησε σε μια άλλη διατύπωση του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου από τον Clausius (Κλαούζιους):

Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί μηχανή που να μεταφέρει θερμότητα από ένα ψυχρό σώμα σε ένα θερμότερο χωρίς να δαπανάται ενέργεια για τη λειτουργία της.

Οι δύο διατυπώσεις του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου που φαινομενικά είναι εντελώς ασύνδετες, είναι ισοδύναμες. Αν αληθεύει η μία από αυτές θα αληθεύει και η άλλη.

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος δεν θέτει περιορισμούς στις μετατροπές της ενέργειας. Σύμφωνα με το δεύτερο, όμως, η φύση θέτει περιορισμούς στη μετατροπή ενέργειας από τη μια μορφή στην άλλη. Η θερμότητα δεν μπορεί να μετασχηματιστεί κατά 100% σε μηχανική ενέργεια. Επίσης ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος, καθορίζοντας ότι η θερμότητα μεταφέρεται πάντα από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα, καθορίζει την κατεύθυνση προς την οποία τα φαινόμενα συμβαίνουν αυθόρμητα στη φύση.

2-13 Η ΜΗΧΑΝΗ ΤΟΥ CARNOT

Σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, μια θερμική μηχανή δεν μπορεί να έχει απόδοση 100%. Ποιος είναι όμως ο μεγαλύτερος συντελεστής απόδοσης που μπορεί να έχει μια μηχανή, όταν δίνονται οι θερμοκρασίες T_h και T_c , των δεξαμενών θερμότητας της μηχανής; Το ερώτημα αυτό απαντήθηκε το 1824 από το Γάλλο μηχανικό Carnot (Καρνό).

Ο Carnot περιέγραψε μια 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. Μια τέτοια, υποθετική, εξιδανικευμένη μηχανή ονομάζεται

μηχανή Carnot και η απόδοσή της αποτελεί το ανώτερο όριο για την απόδοση όλων των άλλων μηχανών. Το συμπέρασμα αυτό είναι γνωστό ως θεώρημα Carnot:

Δεν μπορεί να υπάρξει θερμική μηχανή που να έχει μεγαλύτερη απόδοση από μια μηχανή Carnot η οποία λειτουργεί ανάμεσα στις ίδιες θερμοκρασίες.

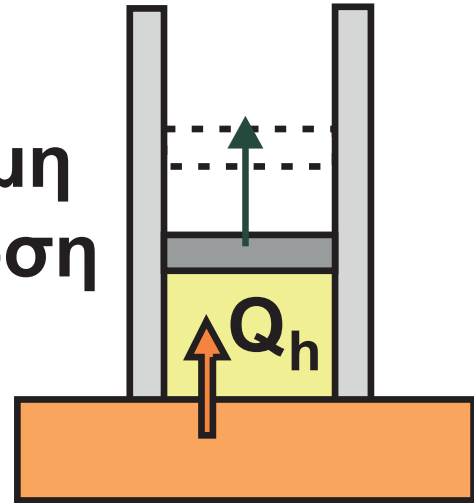
Ο κύκλος Carnot αποτελείται από τέσσερις μεταβολές, δύο ισόθερμες και δύο αδιαβατικές. Θα περιγράψουμε τον κύκλο Carnot για ιδανικό αέριο που βρίσκεται μέσα σε κύλινδρο, που φράσσεται με έμβολο.



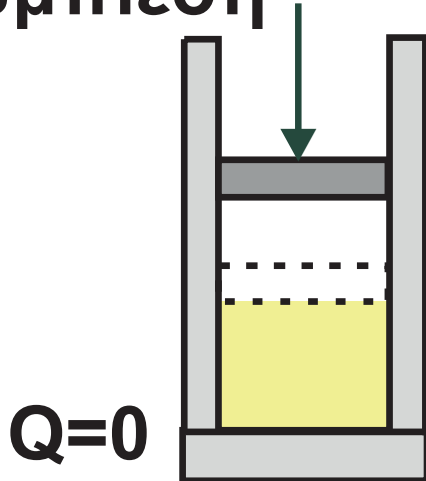
**Εικ. 2.11 Σαντί Καρνό (1796-1832).
Γαλλία. Στρατιωτικός και μηχανικός.
Απόφοιτος της περίφημης Ecole
Polytechnique που ίδρυσε ο Να-
πολέον για να αντιπαρατεθεί στην
ανωτερότητα των Άγγλων στις επι-
στήμες.**

- 1. Κατά τη μεταβολή $A \rightarrow B$, το αέριο βρίσκεται σε επαφή με τη θερμή δεξαμενή και εκτονώνεται ισόθερμα σε θερμοκρασία T_h , απορροφώντας θερμότητα Q_h .**
- 2. Κατά τη μεταβολή $B \rightarrow \Gamma$, το αέριο είναι θερμικά μονωμένο και εκτονώνεται αδιαβατικά μέχρι η θερμοκρασία του να πάρει την τιμή T_c .**
- 3. Κατά τη μεταβολή $\Gamma \rightarrow \Delta$, το αέριο βρίσκεται σε επαφή με τη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας T_c και συμπιέζεται ισόθερμα σε θερμοκρασία T_c , αποβάλλοντας θερμότητα Q_c .**
- 4. Κατά τη μεταβολή $\Delta \rightarrow A$, το αέριο είναι θερμικά μονωμένο και συμπιέζεται αδιαβατικά ώστε να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση.**

A-B
Ισόθερμη
εκτόνωση



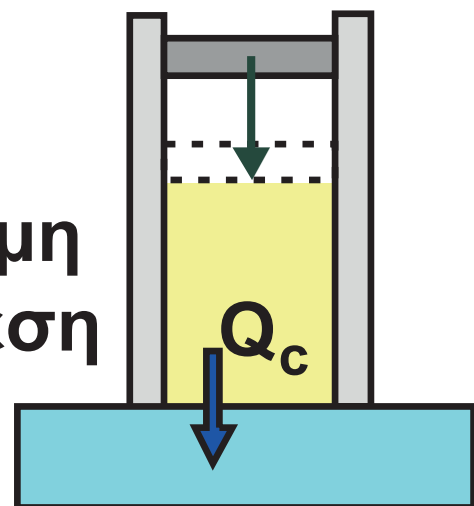
Δ-A
Αδιαβατική
συμπίεση



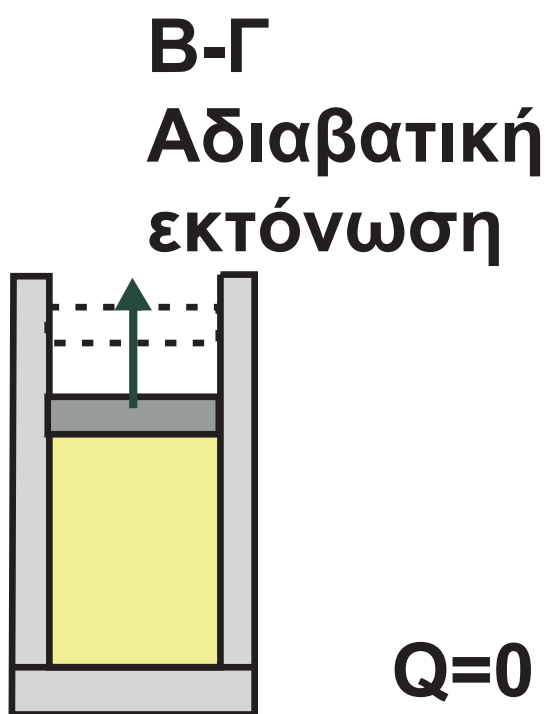
Θερμή δεξαμενή
σε θερμοκρασία T_h



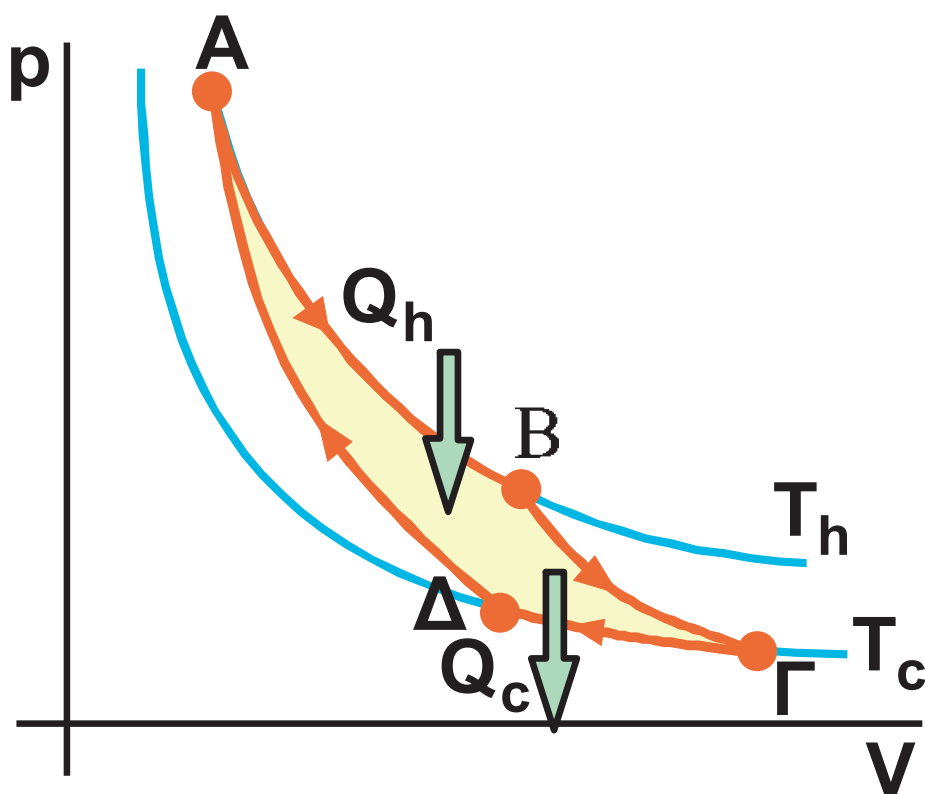
Γ-Δ
Ισόθερμη
συμπίεση



Ψυχρή δεξαμενή
σε θερμοκρασία T_c



Σχ. 2.22 Οι τέσσερις φάσεις του κύκλου Carnot. Το αέριο βρίσκεται σε δοχείο που κλείνεται με έμβολο. Το έμβολο και τα πλευρικά τοιχώματα είναι αδιαβατικά ενώ η βάση του δοχείου διαθερμική.



Σχ. 2.23 Διάγραμμα p - V για τον κύκλο Carnot. Το παραγόμενο έργο W , ισούται με τη θερμότητα, $Q_h - |Q_c|$, που απορροφά το μέσον σε έναν κύκλο.

Ο συντελεστής απόδοσης μιας θερμικής μηχανής είναι

$$e = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h} \quad (2.23)$$

Αποδεικνύεται ότι για τον κύκλο Carnot ισχύει

$$\frac{|Q_c|}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h} \quad (2.24)$$

Αντικαθιστώντας τη (2.24) στη (2.23) βρίσκουμε ότι ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής Carnot είναι

$$e_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_c}{T_h} \quad (2.25)$$

Το αποτέλεσμα δηλώνει ότι ο συντελεστής απόδοσης μιας μηχανής Carnot εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες των δύο δεξαμενών θερμότητας. Επειδή οι περισσότερες πρακτικές εφαρμογές έχουν σαν ψυχρή δεξαμενή το περιβάλλον, δηλαδή θερμοκρασία περίπου 300 K, όσο μεγαλύτερη θερμοκρασία έχει

η δεξαμενή που “δίνει” θερμότητα τόσο πιο αποδοτική μπορεί να είναι η εκμετάλλευσή της. Επίσης το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει το δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο. Για να έχουμε απόδοση 100% πρέπει $T_c = 0$, που είναι αδύνατον.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.5

Μηχανή Carnot λειτουργεί ανάμεσα στις θερμοκρασίες $T_h = 500 \text{ K}$ και $T_c = 300 \text{ K}$. Σε κάθε κύκλο αποδίδει έργο $W = 2000 \text{ J}$. Υπολογίστε την απόδοση της μηχανής και τη θερμότητα που δαπανάται σε κάθε κύκλο.

Απάντηση:

Η απόδοση της μηχανής θα υπολογιστεί από τη σχέση (2.25)

$$e_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_c}{T_h} = \frac{2}{5} = 0,4$$

Η θερμότητα που δαπανάται για κάθε κύκλο λειτουργίας της μηχανής θα υπολογιστεί από τη σχέση (2.17)

$$e = \frac{W}{Q_h} \quad \text{άρα} \quad Q_h = \frac{W}{e} = \frac{2000 \text{ J}}{0,4} = 5000 \text{ J}$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

Ισορροπία - αντιστρεπτές μεταβολές - έργο αερίου

2.1 Αναφέρετε δύο μη αντιστρεπτές μεταβολές, διαφορετικές από αυτές που αναφέρονται στο βιβλίο.

2.2 Το έργο ενός αερίου είναι όταν και αρνητικό όταν (Συμπληρώστε τα κενά).

2.3 Ποια από τις επόμενες προτάσεις που αφορούν στο έργο ενός αερίου είναι σωστές;
α) Ένα αέριο παράγει έργο μόνο όταν υποβάλλεται σε αντιστρεπτή μεταβολή.

- β) Αν ο όγκος του αερίου δε μεταβάλλεται, το έργο του αερίου είναι μηδέν.
- γ) Σε κάθε μεταβολή, αντιστρεπτή ή όχι, το έργο ενός αερίου μπορεί να υπολογιστεί από το διάγραμμα p - V .
- δ) Ο υπολογισμός του έργου του αερίου από το διάγραμμα p - V είναι δυνατός μόνο στην περίπτωση της μη αντιστρεπτής μεταβολής.

2.4 Διαθέτουμε ένα δοχείο χωρισμένο στη μέση με μεμβράνη. Στον ένα χώρο του δοχείου βρίσκεται κάποιο αέριο ενώ ο άλλος είναι κενός. Κάποια στιγμή σπάει η μεμβράνη και το αέριο καταλαμβάνει όλο το χώρο του δοχείου. Το έργο του αερίου είναι θετικό,

αρνητικό ή μηδέν; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Θερμότητα - Εσωτερική ενέργεια

2.5 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Ένα σώμα έχει θερμότητα όταν είναι ζεστό.**
- β) Εάν φέρουμε σε θερμική επαφή δύο σώματα Α και Β, διαφορετικής θερμοκρασίας ($T_A > T_B$) μεταφέρεται ενέργεια (θερμότητα) από το σώμα με την υψηλότερη θερμοκρασία προς το σώμα με τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της εσωτερικής ενέργειας του σώματος Α και την αύξηση της εσωτερικής**

- ενέργειας του σώματος B.
- γ) Με την τριβή δεν αυξάνεται η θερμότητα των σωμάτων που τρίβονται αλλά η εσωτερική τους ενέργεια.
- δ) Θερμότητα και θερμοκρασία είναι διαφορετικές ονομασίες που αποδίδονται στην ίδια έννοια.
- ε) Η εσωτερική ενέργεια ενός αερίου είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του.

2.6 Επιλέξτε τη σωστή πρόταση.

- α) Η εσωτερική ενέργεια ενός αερίου είναι το άθροισμα των δυναμικών ενεργειών των μορίων του.
- β) Η εσωτερική ενέργεια ενός αερίου εξαρτάται μόνο από την πίεση στην οποία βρίσκεται.

- γ) Ένα θερμοδυναμικό σύστημα μπορεί να μεταβεί από μια αρχική κατάσταση σε κάποια άλλη με πολλούς τρόπους. Η μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα μεταβαίνει από την αρχική στην τελική κατάσταση.
- δ) Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ιδανικού αερίου εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση.

2.7 Σώμα αφήνεται να ολισθήσει σε πλάγιο επίπεδο. Η εσωτερική ενέργεια του σώματος μεταβάλλεται:

- α) αν μεταβληθεί η θερμοκρασία του.

- β) διότι μεταβάλλεται η ταχύτητα του.
- γ) διότι μεταβάλλεται το ύψος στο οποίο βρίσκεται το σώμα. Επιλέξτε τη σωστή πρόταση.

2.8 Δύο διαφορετικές ποσότητες αερίου βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Ποια από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστή;

- α) Οι δύο ποσότητες έχουν την ίδια εσωτερική ενέργεια.
- β) Μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια έχει η μεγαλύτερη ποσότητα.
- γ) Μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια έχει η ποσότητα που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο όγκο.
- δ) Μεγαλύτερη εσωτερική ενέργεια έχει το αέριο με τη μεγαλύτερη πίεση.

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος

2.9 Σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο, το ποσό θερμότητας που απορροφά ή αποβάλλει ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα 1) της μεταβολής του συστήματος και 2) που παράγει ή δαπανά το σύστημα. (Συμπληρώστε τις λέξεις που λείπουν).

2.10 Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος:

- α) Αποτελεί μια έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας.
- β) Αναφέρεται σε μονωμένα θερμοδυναμικά συστήματα.

- γ) Ισχύει μόνο στα αέρια.
δ) Ισχύει μόνο στις αντιστρεπτές μεταβολές.
Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

2.11 Να αντιστοιχίσετε τα στοιχεία της αριστερής στήλης σε στοιχεία της δεξιάς.

1) Ισοβαρής αντιστρεπτή μεταβολή	
2) Ισόχωρη αντιστρεπτή μεταβολή	
3) Ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή	
4) Κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή	
5) Αδιαβατική αντιστρεπτή μεταβολή	

$$\alpha) W = nRT \ln \frac{V_T}{V_\alpha}$$

$$\beta) W = \frac{p_\alpha + p_T}{2} \Delta V$$

$$\gamma) W = p \Delta V$$

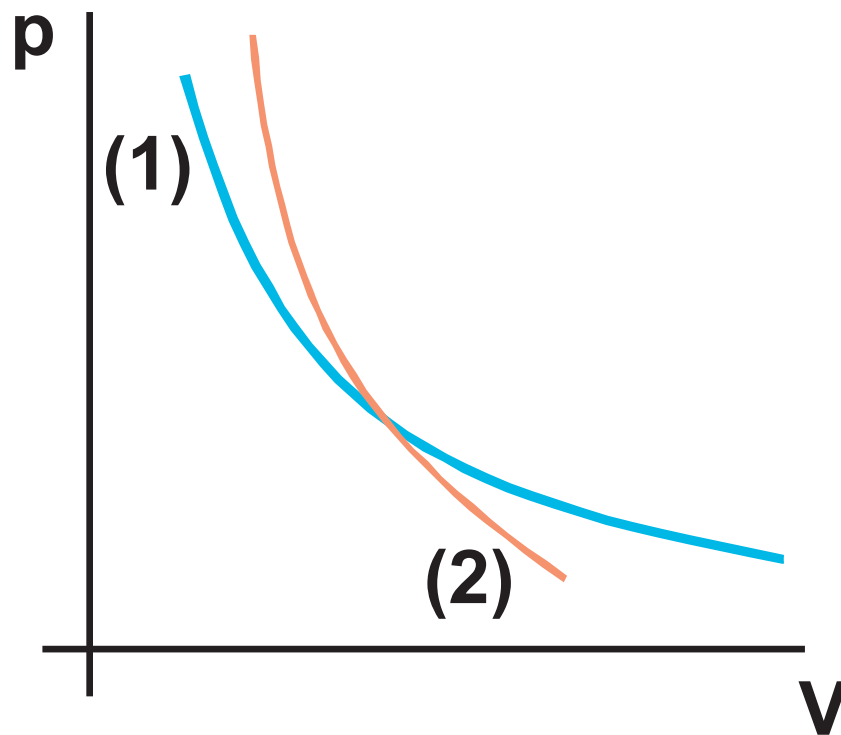
$$\delta) W = 0$$

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

στ) Εμβαδόν που περικλείεται από την κλειστή γραμμή στο διάγραμμα $p=f(V)$

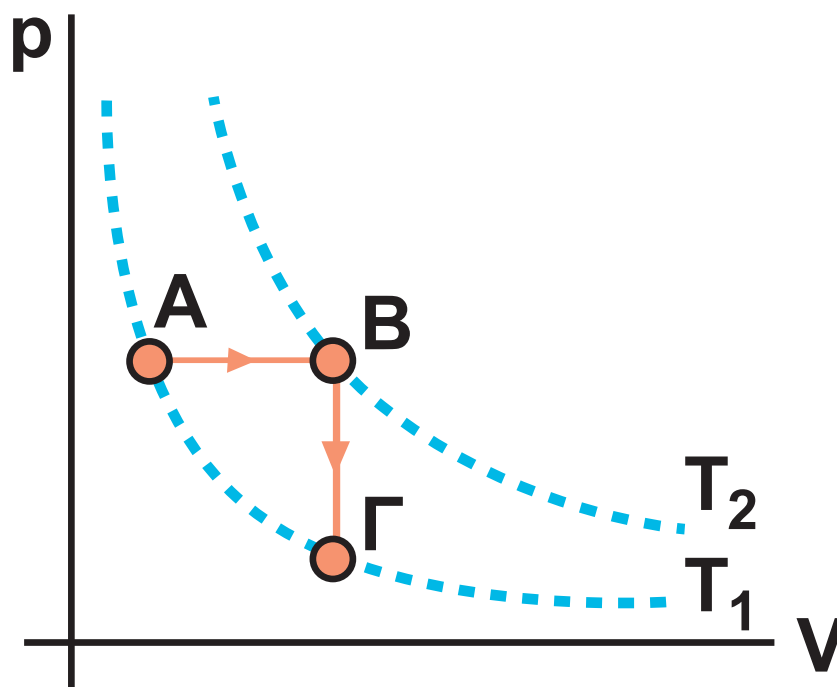
2.12 Να συμπληρώσετε τα κενά:
Το έργο ενός αερίου είναι θετικό όταν το αέριο Στην αντιστρεπτή εκτόνωση το έργο του αερίου είναι ίσο με την ελάττωση της εσωτερικής του ενέργειας. Στην αντιστρεπτή εκτόνωση το έργο του αερίου είναι ίσο με τη θερμότητα που απορροφά το αέριο.

2.13 Στο διάγραμμα του σχήματος 2.36 παριστάνεται μια ισόθερμη και μια αδιαβατική μεταβολή ορισμένης ποσότητας αερίου. Ποια καμπύλη αντιστοιχεί σε κάθε μεταβολή; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.



Σχ. 2.36

2.14 Ένα αέριο, που αρχικά βρίσκεται στην κατάσταση Α, μεταβαίνει στην κατάσταση Β με σταθερή πίεση και στη συνέχεια στην κατάσταση Γ, με σταθερό όγκο, όπως δείχνει το σχήμα 2.37.



Σχ. 2.37

1. Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου κατά

τη διεργασία AB είναι:

- α) Θετική;
- β) Αρνητική;
- γ) Μηδέν;

2. Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου κατά τη διεργασία BΓ είναι:

- α) Θετική;
- β) Αρνητική;
- γ) Μηδέν;

3. Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος κατά τη μετάβασή του από την κατάσταση A στην Γ είναι:

- α) Θετική;
- β) Αρνητική;
- γ) Μηδέν;

Αιτιολογήστε τις απαντήσεις σας.

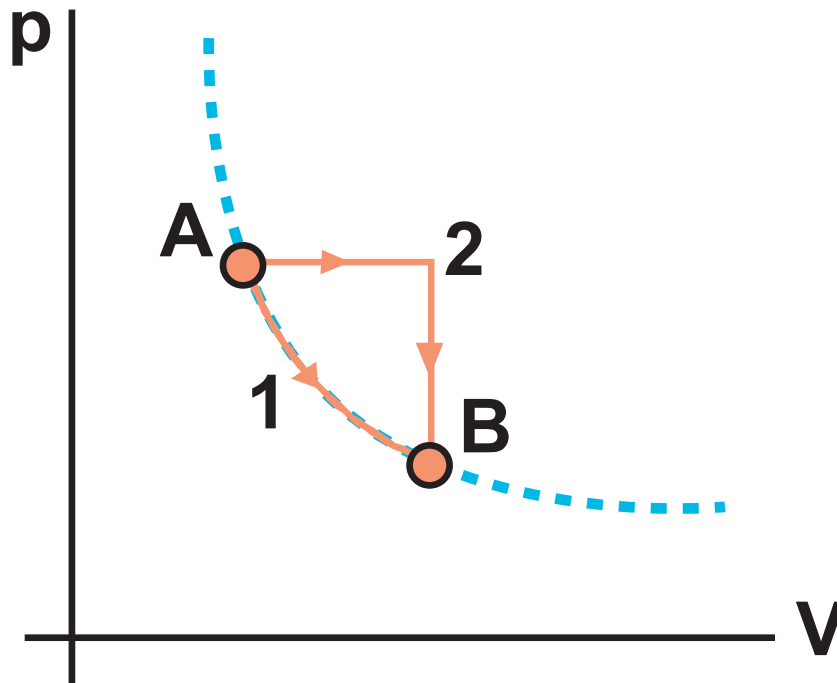
2.15 Επιλέξτε τη σωστή πρόταση.

- α) Στην ισόθερμη εκτόνωση αερίου ένα μέρος της θερμότητας που απορροφά το αέριο μετατρέπεται σε έργο.
- β) Στην ισοβαρή εκτόνωση, το έργο του αερίου είναι ίσο με το ποσό θερμότητας που απορροφά το αέριο.
- γ) Στην ισόχωρη θέρμανση, η θερμότητα που απορροφά το αέριο είναι ίση με τη μεταβολή στην εσωτερική του ενέργεια.
- δ) Στην αδιαβατική εκτόνωση το έργο του αερίου είναι ίσο με τη μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας.

2.16 Ένα αέριο, που αρχικά βρίσκεται στην κατάσταση p_A, V_A , εκτονώνεται μέχρι ο όγκος του να γίνει V_B . Να παρασταθούν σε κοινούς άξονες p - V μια ισόθερμη και μια αδιαβατική που να οδηγούν από την αρχική κατάσταση στις τελικές καταστάσεις όγκου V_B . Σε ποια από τις δύο μεταβολές το έργο που παράγει το αέριο είναι μεγαλύτερο;

2.17 Ένα αέριο μπορεί να μεταβεί από μια αρχική κατάσταση A σε μια τελική κατάσταση B , με δύο τρόπους. α) Με μια ισόθερμη μεταβολή και β) Με μια ισοβαρή εκτόνωση και μια ισόχωρη μεταβολή. Οι δύο τρόποι παριστάνονται στο σχήμα 2.38 με τους αριθμούς

1 και 2. Το ποσό θερμότητας που απορροφά το αέριο είναι:



Σχ. 2.38

α) Μεγαλύτερο κατά τη διαδρομή 1;

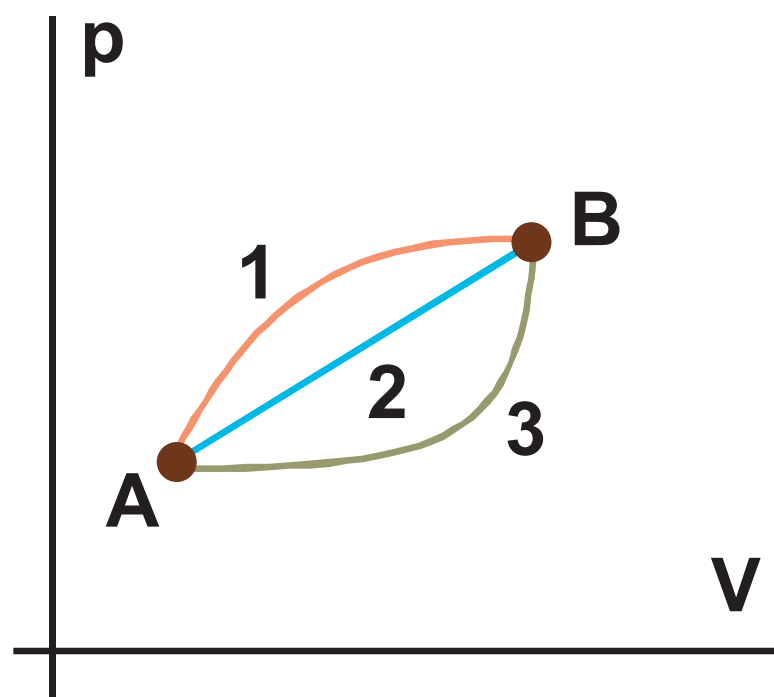
β) Ίδιο και στις δύο περιπτώσεις;

γ) Μεγαλύτερο κατά τη διαδρομή 2;

Ποια από τις προτάσεις αυτές είναι ορθή;

Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

2.18 Ένα αέριο αρχικά βρίσκεται στην κατάσταση A. Το αέριο μπορεί να μεταβεί στην κατάσταση B με μία από τις μεταβολές που παριστάνονται στο διάγραμμα (σχ. 2.39). Να συγκρίνετε για τις τρεις διαδρομές α) το έργο που παράγει το αέριο, β) τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου, γ) το ποσό θερμότητας που απορροφά το αέριο.



Σχ. 2.39

2.19 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Στην ισόχωρη μεταβολή το έργο είναι μηδέν.
- β) Στην αδιαβατική εκτόνωση η τελική θερμοκρασία είναι μικρότερη της αρχικής.
- γ) Στην αδιαβατική εκτόνωση το έργο που παράγει το αέριο είναι ίσο με την ελάττωση της εσωτερικής του ενέργειας.
- δ) Στην ισόθερμη μεταβολή η θερμότητα που ανταλλάσσει το αέριο με το περιβάλλον είναι μηδέν.
- ε) Στην κυκλική μεταβολή το έργο του αερίου είναι ίσο με το εμβαδόν που περικλείεται από τη γραμμή στο διάγραμμα p - V .

Γραμμομοριακές ειδικές θερμότητες αερίων

2.20 Συμπληρώστε τα κενά:

Η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα εκφράζει το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί σε ένα mol αερίου ώστε να ανέβει η θερμοκρασία του κατά

Στα αέρια, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο και η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα

Η σχέση που συνδέει τις δύο ειδικές γραμμομοριακές θερμότητες είναι

2.21 Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές;

- α) Στα στερεά και τα υγρά, η ειδική θερμότητα εξαρτάται μόνο από το υλικό τους. Στα αέρια η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα εξαρτάται κάθε φορά και από τον τρόπο με τον οποίο θερμαίνεται το αέριο.
- β) Ο λόγος C_p/C_v , των γραμμομοριακών ειδικών θερμοτήτων ενός αερίου είναι μικρότερος ή ίσος του 1.
- γ) Στα ιδανικά αέρια $C_p - C_v = \text{σταθερό}$.
- δ) Η σχέση $\Delta U = n C_v \Delta T$ δίνει τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ενός αερίου σε κάθε μεταβολή, αντιστρεπτή ή μη.

2.22 Η θερμοκρασία μιας ποσότητας αερίου αυξάνεται. Η εσωτερική ενέργεια του αερίου:
α) αυξάνεται;
β) μειώνεται;
γ) δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή στη θερμοκρασία;
δ) χρειάζονται και άλλα στοιχεία για να απαντήσουμε;
Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

2.23 Εξηγήστε ποιοτικά γιατί η γραμμομοριακή ειδική θερμότητα των αερίων υπό σταθερή πίεση είναι μεγαλύτερη από τη γραμμομοριακή ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο.

2.24 Πού οφείλονται οι αποκλίσεις ανάμεσα στις θεωρητικές προβλέψεις των C_p και C_v για το

**μοντέλο του ιδανικού αερίου
και στις πειραματικές τιμές
τους;**

Δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος - Θερμικές μηχανές

**2.25 Θερμική μηχανή είναι,
α) το τρόλει;
β) ο φούρνος;
γ) το ποδήλατο;
δ) ο κινητήρας του αεροπλά-
νου;
Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.**

**2.26 Με ποιον τρόπο αποβάλλεται
θερμότητα κατά τη λειτουργία
της μηχανής του αυτοκινήτου;**

2.27 Ποια από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστή;

- α) Κάθε θερμική μηχανή λειτουργεί ανάμεσα σε δύο θερμοκρασίες.
- β) Ο συντελεστής απόδοσης μιας θερμικής μηχανής είναι το πηλίκο της ωφέλιμης ενέργειας που μας δίνει η μηχανή προς το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται από τη μηχανή κατά τη λειτουργία της.
- γ) Εάν ήταν δυνατό να εξαλειφθούν οι τριβές ο συντελεστής απόδοσης των θερμικών μηχανών θα ήταν ίσος με τη μονάδα.
- δ) Η απόδοση των θερμικών μηχανών κυμαίνεται συνήθως ανάμεσα στο 70 με 80%.

2.28 Οι παρακάτω προτάσεις αναφέρονται στο δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο. Ποιες είναι σωστές;

- α) Δεν υπάρχουν περιορισμοί στη μετατροπή της ενέργειας από τη μια μορφή στην άλλη.**
- β) Σε μια κυκλική μεταβολή η θερμότητα που προσφέρεται από το περιβάλλον στο σύστημα, δε μετασχηματίζεται πλήρως σε μηχανική ενέργεια.**
- γ) Κατά την ισόθερμη εκτόνωση, όλο το ποσό θερμότητας που απορροφά το αέριο μετατρέπεται σε έργο. Η μεταβολή αυτή αποτελεί μια εξαίρεση στο δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο.**

- δ) Με τη σημερινή τεχνολογία δεν έχει επιτευχθεί η πλήρης μετατροπή της θερμότητας σε μηχανικό έργο. Ελπίζουμε ότι στο μέλλον θα το κατορθώσουμε.
- ε) Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος αποκλείει την ύπαρξη μιας θερμικής μηχανής που έχει συντελεστή απόδοσης ίσο με 1.
- στ) Το ψυγείο μεταφέρει θερμότητα από τα ψυχρά σώματα προς τα θερμότερα.
- ζ) Η θερμότητα μεταφέρεται πάντα από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα. Για το αντίστροφο απαιτείται δαπάνη ενέργειας.

2.29 Λέμε ότι κατά τη λειτουργία μιας θερμικής μηχανής το ωφέλιμο έργο είναι πάντα μικρότερο από την ενέργεια που δαπανάται για τη λειτουργία της (θερμότητα). Μήπως αυτό παραβιάζει την αρχή διατήρησης της ενέργειας; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

2.30 Η θάλασσα έχει τεράστια εσωτερική ενέργεια. Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή την ενέργεια για την κίνηση των πλοίων; (Δικαιολογήστε την απάντησή σας).

2.31 Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις που αφορούν στη μηχανή Carnot είναι σωστές;
α) Η μηχανή που επινόησε και

- συναρμολόγησε ο Carnot φέρει σήμερα το όνομά του.
- β) Ο κύκλος του Carnot αποτελείται από δύο ισόθερμες και δύο ισόχωρες μεταβολές.
- γ) Η μηχανή Carnot έχει τη μεγαλύτερη απόδοση γιατί μετατρέπει εξ ολοκλήρου τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο.
- δ) Η απόδοση της μηχανής Carnot εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες των δεξαμενών υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας.
- ε) Όταν μικραίνει ο λόγος της θερμοκρασίας της ψυχρής δεξαμενής προς τη θερμοκρασία της θερμής, σε μια μηχανή Carnot, ο συντελεστής απόδοσής της μεγαλώνει.

**2.32 Η απόδοση μιας θερμικής μηχανής δεν μπορεί να είναι από την απόδοση μιας μηχανής Carnot που λειτουργεί ανάμεσα στις ίδιες θερμοκρασίες. Ο συντελεστής απόδοσης μιας μηχανής Carnot είναι
(Συμπληρώστε τα κενά).**

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Έργο αερίου - πρώτος θερμοδυναμικός νόμος

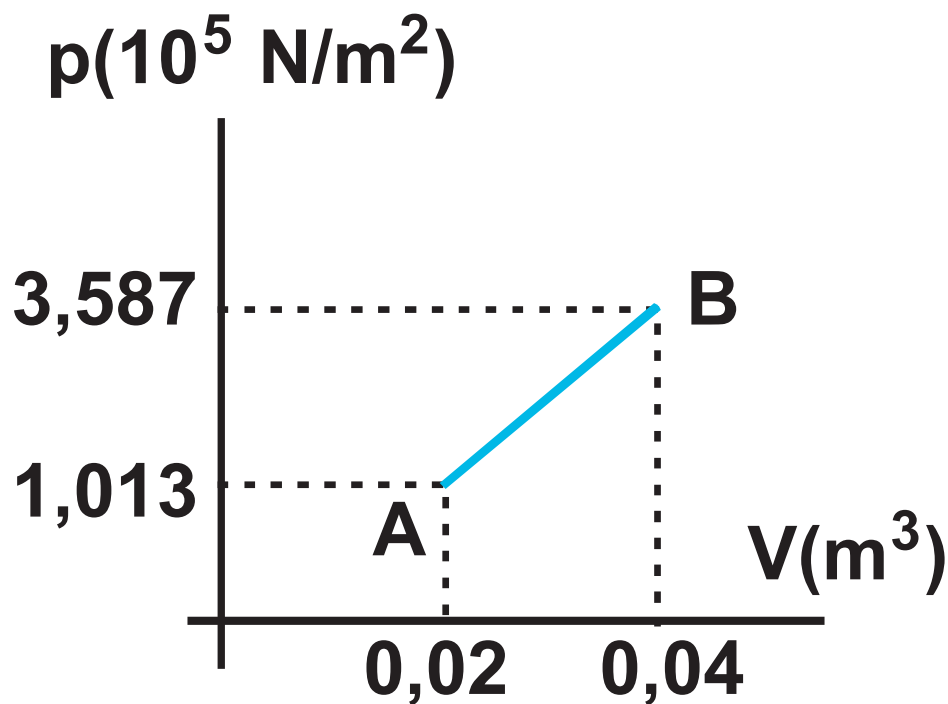
2.40 Αέριο με όγκο $0,004 \text{ m}^3$ θερμαίνεται με σταθερή πίεση $p = 1,2 \text{ atm}$ μέχρι ο όγκος του να γίνει $0,006 \text{ m}^3$. Υπολογίστε το έργο που παράγει το αέριο. Δίνεται $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.
[Απ: 243,1 J]

2.41 Δύο mol αερίου θερμαίνονται από τους 27°C στους 127°C . Η θέρμανση του αερίου γίνεται με σταθερή πίεση. Υπολογίστε το έργο που παράγει το αέριο. Δίνεται $R = 8,314 \text{ J / (mol K)}$.
[Απ: 1663 J]

2.42 Δύο mol αερίου βρίσκονται σε θερμοκρασία 27 °C. Διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία συμπιέζουμε το αέριο ώστε η πίεσή του να διπλασιαστεί. Να υπολογιστεί το έργο του αερίου.

**Δίνονται $R = 8,314 \text{ J / (mol K)}$,
 $\ln 2 = 0,6931$.
[Απ: -3458 J]**

2.43 Το διάγραμμα (σχ. 2.41) παριστάνει τη μεταβολή ενός αερίου από την κατάσταση A στην κατάσταση B. Υπολογίστε το έργο του αερίου κατά τη μεταβολή αυτή.
[Απ: 4600 J]



Σχ. 2.41

2.44 Ποσότητα αερίου καταλαμβάνει όγκο 10 L και έχει πίεση 1 atm. Το αέριο εκτονώνεται ισόθερμα μέχρι να διπλασιαστεί ο όγκος του. Υπολογίστε το ποσό θερμότητας που απορρόφησε το αέριο. Δίνονται
 $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$,
 $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$,
 $\ln 2 = 0,6931$.
[Απ: $Q = 702,1 \text{ J}$]

2.45 Αέριο βρίσκεται μέσα σε δοχείο που κλείνεται με έμβολο. Το αέριο καταλαμβάνει όγκο $V_1 = 0,008 \text{ m}^3$, έχει θερμοκρασία $T_1 = 300 \text{ K}$ και πίεση $p_1 = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Θερμαίνουμε το αέριο υπό σταθερή πίεση, μέχρι η θερμοκρασία του να γίνει $T_2 = 375 \text{ K}$.

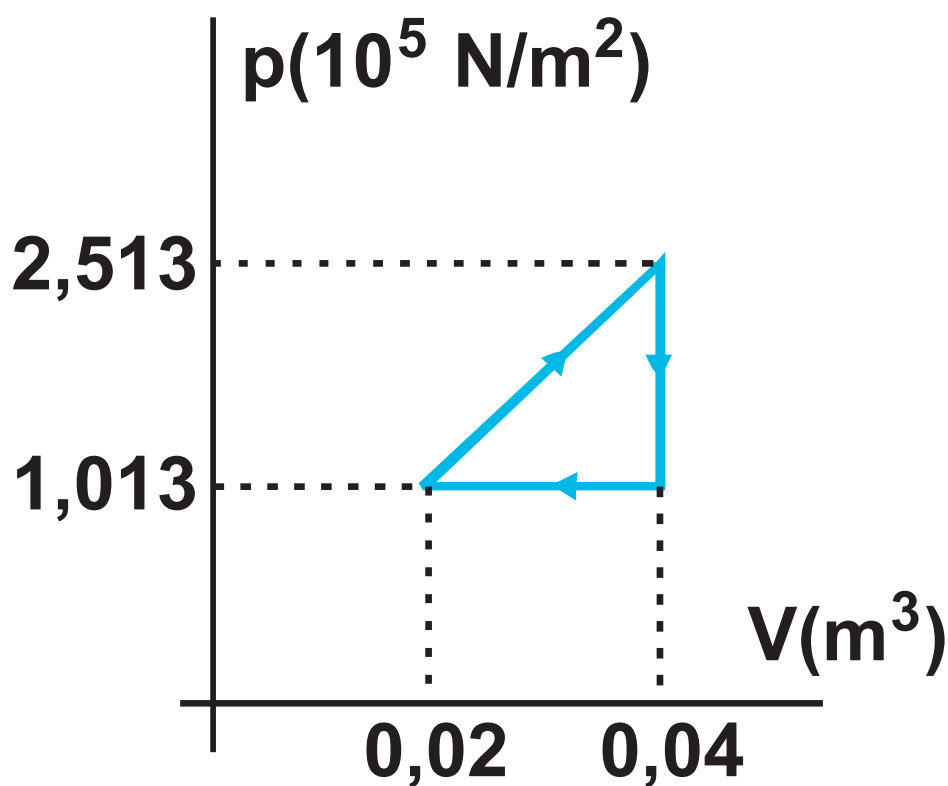
- α) Υπολογίστε το έργο του αερίου.
- β) Αν κατά τη θέρμανσή του το αέριο απορρόφησε θερμότητα $Q = 709,1 \text{ J}$ υπολογίστε τη μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας.
- [Απ: $W = 202,6 \text{ J}$, $\Delta U = 506,5 \text{ J}$]

2.46 0,2 mol αερίου συμπιέζονται ισόθερμα σε θερμοκρασία $\theta = 27^\circ \text{C}$, ώστε ο όγκος του να ελαττωθεί στο μισό. Υπολογίστε το ποσό θερμότητας που αντάλλαξε το αέριο με το περιβάλλον.

Δίνονται $R = 8,314 \text{ J / (mol K)}$, $\ln 2 = 0,6931$.

[Απ: $-345,8 \text{ J}$]

2.47 Αέριο εκτελεί την κυκλική μεταβολή του σχήματος 2.42. Υπολογίστε το καθαρό ποσό θερμότητας που απορρόφησε.
[Απ: 1500 J]



Σχ. 2.42

Γραμμομοριακές ειδικές θερμότητες ιδανικού αερίου

2.48 Ιδανικό αέριο βρίσκεται σε δοχείο σταθερού όγκου $0,004 \text{ m}^3$. Το αέριο θερμαίνεται ώστε η πίεσή του από $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ να γίνει $3,213 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Να υπολογιστεί το ποσό θερμότητας που απορρόφησε το αέριο. Δίνεται ότι στα ιδανικά αέρια ισχύει $C_V = 3/2 R$.
[Απ: 1320 J]

2.49 Αέριο θερμαίνεται με σταθερή πίεση $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, ώστε ο όγκος του από $0,005 \text{ m}^3$ να γίνει $0,007 \text{ m}^3$. Να υπολογιστεί το ποσό θερμότητας που απορρόφησε το αέριο. Δίνεται $C_V = 3/2 R$.
[Απ: 506,5 J]

2.50 Να υπολογιστεί η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας ορισμένης ποσότητας αερίου όταν το θερμάνουμε με σταθερή πίεση προσφέροντάς του θερμότητα $Q = 10 \text{ cal}$. Για το αέριο ισχύει $\gamma = 1,41$.
Δίνεται $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$.
[Απ: 29,64 J]

Θερμικές μηχανές - Κύκλος Carnot

2.51 Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ένα εργοστάσιο χρησιμοποιεί λιγνίτη. Από την καύση του λιγνίτη το εργοστάσιο τροφοδοτείται με θερμότητα με ρυθμό 900 MW και παράγει 300 MW μηχανικής ισχύος που στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ. Υπολογίστε

την απόδοση του εργοστασίου κατά τη μετατροπή της θερμότητας σε μηχανική ενέργεια.
[Απ: 33,3%]

2.52 Θερμική μηχανή παράγει σε κάθε κύκλο λειτουργίας της μηχανικό έργο 200 J. Η απόδοση της μηχανής είναι 25%. Υπολογίστε το ποσό θερμότητας που απορροφά, καθώς και το ποσό θερμότητας που αποβάλλει η μηχανή σε κάθε κύκλο της.
[Απ: 800 J, 600 J]

2.53 Οι βενζινομηχανές στα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν τη θερμότητα που παράγεται από την καύση της βενζίνης. Μέρος της θερμότητας αυτής τη μετατρέπουν σε μηχανικό έργο και

την υπόλοιπη την αποβάλλουν στην ατμόσφαιρα. Η απόδοση μιας τέτοιας μηχανής είναι περίπου 20%. Η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με την καύση της βενζίνης είναι περίπου 2100 °C. Αν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι 23 °C, υπολογίστε τη θεωρητικά μέγιστη απόδοση που μπορεί να έχει μία τέτοια μηχανή. (Θα θεωρήσετε ότι τα καυσαέρια αποβάλλονται στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας).
[Απ: 87%]

2.54 Μια μηχανή Carnot υποβάλλει σε κυκλική μεταβολή 5 mol ιδανικού αερίου. Η θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής είναι 500 K και της ψυχρής 300 K. Κατά

την ισόθερμη εκτόνωσή του ο
όγκος του αερίου από

$$V_A = 3 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ γίνεται}$$

$$V_B = 6 \times 10^{-2} \text{ m}^3. \text{ Υπολογίστε:}$$

α) Το συντελεστή απόδοσης
της μηχανής.

β) Το έργο που παράγει η μη-
χανή σε κάθε κύκλο.

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

$$\ln 2 = 0,693.$$

[Απ: 0,4, 5762 J]

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

A

ατμομηχανή 78, 79, 80

B

βενζινοκινητήρα, αρχή..... 81, 82, 83

E

ειδική θερμότητα..... 63

ειδική γραμμομοριακή θερμότητα

-υπό σταθερή πίεση (C_p)..... 67

-υπό σταθερό όγκο (C_V) 64 – 65

ενέργεια, εσωτερική 31

έργο αερίου 29

Θ

θερμοδυναμική 6

θερμοδυναμικού συστήματος

ισορροπία 10

θερμότητα..... 30

I

Ισορροπία θερμοδυναμική 13

K

κύκλος Carnot.....	108
-Otto	98

M

μεταβλητή, θερμοδυναμική	10 – 11
μεταβολή αδιαβατική	51
-αντιστρεπτή	15
-κυκλική	56
-ισοβαρής	49
-ισόθερμη	44
-ισόχωρη	47
μηχανές θερμικές.....	76
μηχανή Carnot.....	108

N

νόμος θερμοδυναμικός 1ος.....	39 – 40
-θερμοδυναμικός 2ος	104
-Poisson	53

Σ

συντελεστής απόδοσης.....	87
σύστημα θερμοδυναμικό	7 – 8
-μονωμένο	8

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2 Θερμοδυναμική

Εισαγωγή	6
Θερμοδυναμικό σύστημα	7
Ισορροπία θερμοδυναμικού συστήματος.....	10
Αντιστρεπτές μεταβολές.....	14
Έργο παραγόμενο από αέριο κατά τη διάρκεια μεταβολών όγκου	24
Θερμότητα.....	30
Εσωτερική ενέργεια	31
Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος	38
Εφαρμογή του πρώτου θερμοδυναμικού νόμου σε ειδικές περιπτώσεις	44
Γραμμομοριακές ειδικές θερμότητες αερίων	62
Θερμικές μηχανές.....	76

Δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος	104
Η μηχανή του Carnot	108
Ερωτήσεις.....	118
Ασκήσεις	147

Παραρτήματα	
Πίνακες σταθερών.....	158
Λεξιλόγιο όρων.....	162
Βιβλιογραφία	186
Αλφαβητικό ευρετήριο.....	190

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.