

Ας εφαρμόσουμε τώρα τον παραπάνω ορισμό για την περίπτωση ενός συστήματος που αποτελείται από δυο σώματα A και B διαφορετικών θερμοκρασιών T_A και T_B αντίστοιχα με $T_A > T_B$. Αν αρχικά τα δυο σώματα είναι απομονωμένα από το περιβάλλον και στη συνέχεια έλθουν σε θερμική επαφή, τότε ένα ποσό θερμότητας dQ θα μεταφερθεί από το A στο B και όχι αντίστροφα. Κατά συνέπεια η εντροπία του B θα αυξηθεί κατά $\Delta S_B = dQ/T_B$, ενώ η εντροπία του A θα μειωθεί κατά $\Delta S_A = -dQ/T_A$. Άρα η εντροπία του συστήματος θα μεταβληθεί κατά

$$\Delta S = \frac{dQ}{T_B} - \frac{dQ}{T_A}$$

που είναι θετικός αριθμός, επειδή $T_A > T_B$ και $dQ > 0$.

Το παραπάνω αποτέλεσμα μπορούμε να το γενικεύσουμε στην ακόλουθη πρόταση:

"Στη διάρκεια πραγματικών διεργασιών, η εντροπία απομονωμένου συστήματος πάντοτε αυξάνει και γίνεται μέγιστη στην κατάσταση ισορροπίας."

Η πρόταση αυτή εκφράζεται με την εξίσωση:

$$\Delta S \geq 0 \quad (4.47)$$

και αποτελεί τη μαθηματική διατύπωση του *δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής*.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 4-6. Ισόθερμη εκτόνωση ιδανικού αερίου.

Ας θεωρήσουμε την αντιστρεπτή ισόθερμη εκτόνωση ενός ιδανικού αερίου θερμοκρασίας T από όγκο V_1 σε όγκο V_2 . Να υπολογισθεί η μεταβολή της εντροπίας.

Λύση

Κατά την ισόθερμη διεργασία η θερμότητα που προσφέρεται στο σύστημα μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έργο, δηλαδή:

$$dQ = P dV.$$

Αντικαθιστώντας την εξίσωση αυτή, που ισχύει για αντιστρεπτές διεργασίες, στην Εξ.(4.46) και λύνοντας ως προς P την καταστατική εξίσωση των αερίων, $P = nRT/V$ (θεωρούμε ποσότητα n γραμμομορίων) παίρνουμε:

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int_{V_1}^{V_2} P dV = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Η εντροπία, δηλαδή, του αερίου αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της αντιστρεπτής εκτόνωσης. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι η μεταβολή της εντροπίας είναι ανεξάρτητη της διαδρομής που συνδέει τις δυο καταστάσεις.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 4-7. Η θερμική μηχανή του Carnot.

Η μετατροπή θερμικής ενέργειας εξολοκλήρου σε έργο δεν γίνεται στη φύση και απαιτεί τη χρησιμοποίηση μιας θερμικής μηχανής. Η πιο απλή μηχανή για το σκοπό αυτό είναι η μηχανή του Carnot. Η μηχανή του Carnot λειτουργεί μεταξύ δύο θερμοκρασιών T_1 και T_2 ($T_1 > T_2$), κατά τη διάρκεια ενός κύκλου που συνίσταται από δύο ισόθερμες και δύο αδιαβατικές αντιστρεπτές διεργασίες. Οι μεταβολές της ενέργειας που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ενός κύκλου παριστάνονται σχηματικά στο Σχ.4-13: ποσό θερμότητας Q_1 αφαιρείται από τη δεξαμενή θερμότητας με την υψηλότερη θερμοκρασία T_1 , η μηχανή M παράγει έργο W στο σύστημα B και ποσό θερμότητας

$$Q_2 = Q_1 - W \quad (4.48)$$

αποδίδεται στη δεξαμενή θερμότητας με τη χαμηλότερη θερμοκρασία T_2 . Επομένως η ολική μεταβολή της εντροπίας στη διάρκεια ενός κύκλου είναι μηδέν, δηλαδή:

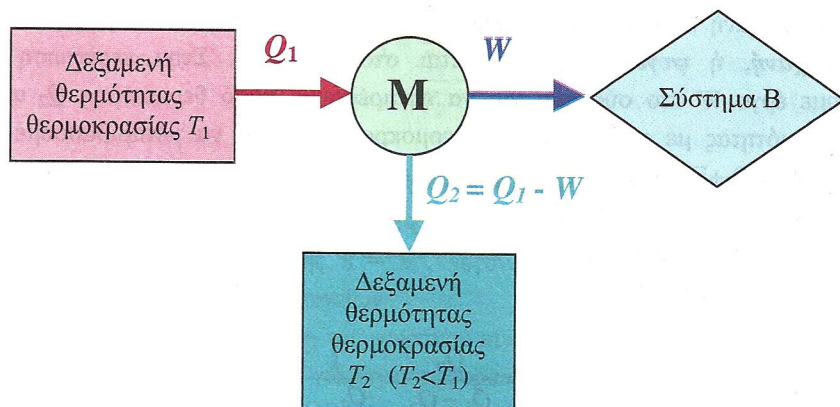
$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

απ' όπου προκύπτει:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (4.49)$$

Ο συντελεστής απόδοσης μιας θερμικής μηχανής ορίζεται από τη σχέση

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \quad (4.50)$$



Σχήμα 4-13. Αρχή λειτουργίας της θερμικής μηχανής του Carnot

είναι δηλαδή ο λόγος του ωφέλιμου έργου προς το προσφερόμενο ποσό θερμότητας για τη λειτουργία της μηχανής. Συνδυάζοντας τις Εξ.(4.48) έως (4.50) βρίσκουμε:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (4.51)$$

Διαπιστώνουμε ότι ο συντελεστής απόδοσης μιας θερμικής μηχανής, που λειτουργεί σύμφωνα μ' έναν αντιστρεπτό κύκλο του Carnot, εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες των δύο δεξαμενών θερμότητας. Έτσι για θερμοκρασίες $T_1=773 \text{ K}$ (500°C) και $T_2=300 \text{ K}$ (27°C) βρίσκουμε $\eta = 0,6$. Οι συντελεστές απόδοσης που πετυχαίνονται στην πράξη για πραγματικές μηχανές είναι το 50% περίπου αυτών των μέγιστων συντελεστών απόδοσης των ιδανικών αντιστρεπτών μηχανών.

Η Εξ.(4.51) δείχνει επίσης ότι η απόδοση μιας ιδανικής θερμικής μηχανής είναι μικρότερη της μονάδας. Για το λόγο αυτό ο Kelvin διατύπωσε την ακόλουθη απαγορευτική αρχή:

"Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή, που να λειτουργεί με κυκλικές μεταβολές, η οποία να απορροφά θερμότητα από μια πηγή και να τη μετατρέπει εξ ολοκλήρου σε έργο, χωρίς μέρος της θερμότητας να αποδίδεται σε δεξαμενή θερμότητας με χαμηλότερη θερμοκρασία."