

Aufgaben zu den Hauptsätzen der Thermodynamik

Theorie

1. Nullter Hauptsatz

Der nullte Hauptsatz beschreibt das thermische Gleichgewicht.

Wenn zwei Körper jeweils mit einem dritten Körper im thermischen Gleichgewicht sind, dann sind sie auch untereinander im thermischen Gleichgewicht.

Das bedeutet:

- Sie haben die gleiche Temperatur.
- Es fließt keine Wärme mehr zwischen ihnen.

2. Erster Hauptsatz

Der erste Hauptsatz ist der Energieerhaltungssatz für thermodynamische Systeme.

$$\Delta U = Q + W$$

$$\begin{array}{ll} \Delta U &= \text{Änderung der inneren Energie} \\ Q &= \text{zugeführte Wärme} \\ W &= \text{am System verrichtete Arbeit} \end{array}$$

Wenn ein Gas Wärme aufnimmt oder Arbeit an ihm verrichtet wird, kann sich seine innere Energie ändern.

3. Zweiter Hauptsatz

Der zweite Hauptsatz beschreibt die Richtung von Wärmeprozessen.

- Wärme fließt von selbst vom warmen zum kalten Körper.
- Wärme fließt nicht von selbst vom kalten zum warmen Körper.
- Keine Wärmekraftmaschine kann die gesamte aufgenommene Wärme vollständig in Arbeit umwandeln.

Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine ist:

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{zu}}}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \text{Wirkungsgrad} \\ W &= \text{abgegebene Arbeit} \\ Q_{\text{zu}} &= \text{zugeführte Wärme}\end{aligned}$$

4. Dritter Hauptsatz

Der dritte Hauptsatz beschreibt das Verhalten von Stoffen nahe dem absoluten Nullpunkt.

$$T = 0 \text{ K}$$

Der absolute Nullpunkt kann praktisch nicht erreicht werden.

Aufgaben

1. Thermisches Gleichgewicht

Drei Metallkörper A, B und C werden untersucht.

Körper A ist mit Körper C im thermischen Gleichgewicht. Körper B ist ebenfalls mit Körper C im thermischen Gleichgewicht.

- (a) Was folgt daraus für A und B?
- (b) Welcher Hauptsatz wird hier verwendet?

2. Erster Hauptsatz

Einem Gas werden

$$Q = 600 \text{ J}$$

Wärme zugeführt.

Gleichzeitig wird am Gas eine Arbeit von

$$W = 250 \text{ J}$$

verrichtet.

Berechne die Änderung der inneren Energie ΔU .

3. Arbeit durch ein Gas

Ein Gas nimmt

$$Q = 900 \text{ J}$$

Wärme auf.

Dabei dehnt es sich aus und verrichtet

$$350 \text{ J}$$

Arbeit an der Umgebung.

Berechne die Änderung der inneren Energie.

4. Richtung des Wärmeflusses

Ein heisser Metallblock wird in kaltes Wasser gelegt.

- (a) In welche Richtung fliesst die Wärme von selbst?
- (b) Welcher Hauptsatz beschreibt diese Richtung?
- (c) Warum wird das Wasser wärmer?

5. Wirkungsgrad einer Maschine

Eine Wärmekraftmaschine nimmt

$$Q_{\text{zu}} = 2000 \text{ J}$$

Wärme auf.

Sie gibt

$$W = 500 \text{ J}$$

als nutzbare Arbeit ab.

- (a) Berechne den Wirkungsgrad η .
- (b) Gib den Wirkungsgrad in Prozent an.
- (c) Was passiert mit der restlichen Energie?

6. Schwierige Aufgabe: Kühlschrank

Ein Kühlschrank transportiert Wärme aus seinem kalten Innenraum nach aussen in die wärmere Umgebung.

- (a) Warum widerspricht das nicht dem zweiten Hauptsatz?
- (b) Welche Rolle spielt die elektrische Energie?

Lösungen

1. Thermisches Gleichgewicht

Wenn A mit C im thermischen Gleichgewicht ist und B mit C im thermischen Gleichgewicht ist, dann sind auch A und B miteinander im thermischen Gleichgewicht.

$$\boxed{T_A = T_B = T_C}$$

Verwendet wird der nullte Hauptsatz der Thermodynamik.

2. Erster Hauptsatz

$$\Delta U = Q + W$$

$$\Delta U = 600 \text{ J} + 250 \text{ J}$$

$$\boxed{\Delta U = 850 \text{ J}}$$

Die innere Energie nimmt um 850 J zu.

3. Arbeit durch ein Gas

Wenn das Gas Arbeit an der Umgebung verrichtet, ist die Arbeit am Gas negativ:

$$W = -350 \text{ J}$$

$$\Delta U = Q + W$$

$$\Delta U = 900 \text{ J} - 350 \text{ J}$$

$$\boxed{\Delta U = 550 \text{ J}}$$

Die innere Energie nimmt um 550 J zu.

4. Richtung des Wärmeflusses

Die Wärme fließt von selbst vom heißen Metallblock zum kalten Wasser.

Das beschreibt der zweite Hauptsatz der Thermodynamik.

Das Wasser wird wärmer, weil es Wärmeenergie vom Metallblock aufnimmt.

Wärme fließt von warm nach kalt.

5. Wirkungsgrad einer Maschine

$$\eta = \frac{W}{Q_{\text{zu}}}$$

$$\eta = \frac{500}{2000}$$

$$\eta = 0.25$$

$$\eta = 25 \%$$

Die restliche Energie wird als Abwärme an die Umgebung abgegeben.

6. Kühlschrank

Der Kühlschrank widerspricht dem zweiten Hauptsatz nicht, weil die Wärme nicht von selbst vom kalten Innenraum in die warme Umgebung fließt.

Dazu ist elektrische Energie notwendig.

Mit Hilfe dieser Energie wird Wärme aus dem Innenraum nach aussen transportiert.

Der Prozess braucht zugeführte Arbeit.