

Aufgaben 3 Thermodynamik Entropieleitung, Wärmemotoren, Erwärmbarkeit

Lernziele

- das Phänomen der Entropieleitung in einem Körper kennen.
- wissen und verstehen, wovon die Stärke eines Entropiestromes in einem Körper abhängt.
- die Grösse Entropieleitfähigkeit kennen und verstehen.
- die Entropiestromstärke bei einem Entropieleitungsvorgang bestimmen können.
- wissen und verstehen, was ein konvektiver Entropietransport ist.
- beurteilen können, ob es sich bei einem gegebenen Entropietransport um Entropieleitung oder um einen konvektiven Entropietransport handelt.
- wissen und verstehen, wie ein Wärmemotor grundsätzlich funktioniert.
- Beispiele von Wärmemotoren und deren Entropiequellen kennen.
- den Energieumladevorgang in einem Wärmemotor verstehen.
- wissen, von welchen Grössen die in einem Körper enthaltene Entropie abhängt.
- die Grösse Erwärmbarkeit kennen, verstehen und bestimmen können.
- den Zusammenhang zwischen einer Temperaturänderung eines Körpers und der dafür notwendigen Änderung der im Körper gespeicherten Entropie kennen, verstehen und anwenden können.
- den Zusammenhang zwischen einer Temperaturänderung eines Körpers und der dafür notwendigen Änderung der im Körper zusammen mit der Entropie gespeicherten Energie kennen, verstehen und anwenden können.
- die Grösse Spezifische Energiekapazität kennen und verstehen.

Aufgaben

- 3.1 Bei der Wärmeleitung durch eine Wand wird in der Wand Entropie erzeugt (vgl. Unterricht).
Drücken Sie die Rate Π_S der in der Wand erzeugten Entropie durch die Stromstärke I_W der durch die Wand fließenden Energie und die Temperaturen T_1 und T_2 ($T_2 < T_1$) auf den Wandoberflächen aus.
- 3.2 Es wäre sinnvoller, die Grösse c nicht als „spezifische *Wärmekapazität*“ sondern als „spezifische *Energiekapazität*“ zu bezeichnen. Warum?
- 3.3 Ein Stoff habe im Temperaturbereich von 0 °C bis 150 °C eine konstante spezifische Energiekapazität $c = 800\text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.
Ein Körper bestehe aus 10 kg des genannten Stoffes und soll sich von 27 °C auf 127 °C erwärmen.
Bestimmen Sie die dafür erforderliche ...
- a) ... Änderung ΔS der im Körper gespeicherten Entropie.
b) ... Änderung ΔW der im Körper (zusammen mit der Entropie) gespeicherten Energie.
- Hinweis:
- Berücksichtigen Sie, dass die Erwärmbarkeit α des betrachteten Stoffes temperaturabhängig ist. Daher ist für die Berechnung der Entropieänderung ΔS eine Integration über die Temperatur T erforderlich.
- 3.4 Führen Sie in Moodle den [Test 3.1](#) durch.

Lehrbuch KPK 2 (Karlsruher Physikkurs, Band 2)

1 Wärmelehre

- 1.7 Die Entropieleitfähigkeit (Seiten 13 bis 15)
- 1.8 Entropietransport durch Konvektion (Seiten 16 und 17)
- 1.11 Entropieerzeugung durch Entropieströme (Seiten 20 und 21)

- 1.12 Wärmemotoren (Seiten 21 bis 23)
- 1.13 Entropiequellen für Wärmemotoren (Seiten 23 und 24)
- 1.16 Die Messung der Entropie (Seiten 27 bis 29)
- 1.17 Die Erwärmbarkeit (Seiten 29 bis 32)
- 1.18 Der Zusammenhang zwischen Energiezufuhr und Temperaturänderung (Seiten 32 und 33)

Bemerkung zu 1.11:

- Im Lehrbuch KPK 2 wird für die **Entropieerzeugungsrate** das Formelzeichen $I_{S,erzeugt}$ verwendet. Dies hat den Nachteil, dass man so eine Entropieerzeugungsrate nicht gut von einer Entropiestromstärke unterscheiden kann, für welche das Formelzeichen I_S verwendet wird. Wir werden im Unterricht deshalb die Entropieerzeugungsrate mit Π_S bezeichnen.

Bemerkung zu 1.12:

- In der Abbildung 1.36 ist der Begriff „Drehmoment“ falsch. Es sollte (wie in den Abbildungen 1.34 und 1.35) „Drehimpuls“ heissen.

Hinweise zu 1.17:

- Der Zusammenhang zwischen einer kleinen Temperaturänderung ΔT eines Körpers und der dafür notwendigen Änderung ΔS der im Körper gespeicherten Entropie kann wie folgt geschrieben werden (Formeln (1.23) und (1.24) nach ΔS aufgelöst):

$$\Delta S = \frac{n}{\alpha} \Delta T \quad (\text{I})$$

- Beachten Sie, dass die Erwärmbarkeit α im Allgemeinen von der Temperatur T abhängt. Die Formeln (1.23), (1.24) und (I) sind daher Näherungsformeln für eine **kleine** Temperaturänderung ΔT . Nur für eine kleine Temperaturänderung ΔT darf α näherungsweise als Konstante betrachtet werden.
- Die exakte Version der Formel (I) für eine infinitesimal kleine Temperaturänderung dT lautet:

$$dS = \frac{n}{\alpha} dT \quad (\text{II})$$

Hinweise zu 1.18:

- Im Lehrbuch KPK 4 wird für die **Energie** das Formelzeichen E verwendet. In der Physik wird die Energie jedoch häufig auch mit W bezeichnet, um Verwechslungen mit anderen Grössen zu vermeiden. Wir werden im Unterricht deshalb die Energie mit W bezeichnen.

- Auch die Formel (1.26) ist eine Näherungsformel für eine kleine Temperaturänderung ΔT :

$$\Delta W = T \Delta S \quad (\text{III})$$

Die exakte Version für eine infinitesimal kleine Temperaturänderung dT lautet:

$$dW = T dS \quad (\text{IV})$$

- Der Zusammenhang zwischen einer kleinen Temperaturänderung ΔT eines Körpers und der dafür notwendigen Änderung ΔW der (zusammen mit der Entropie) gespeicherten Energie kann wie folgt geschrieben werden:

$$\Delta W = c m \Delta T \quad (\text{V})$$

- Beachten Sie, dass die Grösse c im Allgemeinen von der Temperatur T abhängt. Die Formel (V) ist daher eine Näherungsformel für eine **kleine** Temperaturänderung ΔT . Nur für eine kleine Temperaturänderung ΔT darf c näherungsweise als Konstante betrachtet werden.

- Die exakte Version der Formel (V) für eine infinitesimal kleine Temperaturänderung dT lautet:

$$dW = c m dT \quad (\text{VI})$$

Lösungen

3.1 $\Pi_S = \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) I_W$

3.2 ...

3.3 a) $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{n}{\alpha} dT = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mc}{T} dT = m c \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = 10 \text{ kg} \cdot 800 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \cdot \ln\left(\frac{400 \text{ K}}{300 \text{ K}}\right) = 2.3 \text{ kCt}$

b) $\Delta W = c m \Delta T = 800 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \cdot 10 \text{ kg} \cdot 100 \text{ K} = 0.80 \text{ MJ}$

3.4 -