

Physik und Systemwissenschaft

Test, April 2010

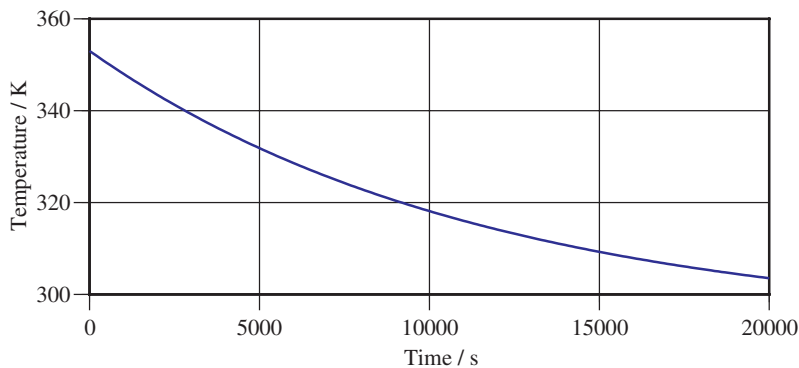
Zweites Semester WI09

Erlaubte Hilfsmittel: Bücher und persönlich verfasste Zusammenfassung. Rechen- und Schreibzeugs.

Antworten müssen begründet und nachvollziehbar sein.

Ein Teekessel

Von einem Teekessel, der mit 2.0 l heissem Wasser randvoll gefüllt ist, liegen Temperaturdaten für das Abkühlen vor (siehe Diagramm). Der Teekessel ist eine Halbkugel (unten flach) und aus dünnem Blech gemacht. Der Radius beträgt 9.85 cm. Die Unterseite ist isoliert. Die Umgebungstemperatur beträgt 20 °C.



- Bestimmen Sie mit Hilfe der Daten des Abkühlens den Energie-durchgangskoeffizienten (d.h., den Wärmedurchgangskoeffizienten) vom Wasser an die Luft. (Sie sollten einen Wert von 12 $\text{W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ erhalten.) [2 P.]
- Der Kessel wird ganz mit kaltem Wasser gefüllt, und die eingebaute elektrische Heizung wird auf 50 W eingestellt und angeschaltet. Wie hoch kann die Temperatur des Wassers höchstens werden? [2 P.]
- Skizzieren Sie die Temperatur des Wassers beim Heizen mit 50 W als Funktion der Zeit. Die Anfangstemperatur sei 20°C. [2 P.]
- Im Teekessel hat es ein Thermometer, das in Wasser eine Zeitkonstante von 10 s hat. Wasser und Thermometer sind anfänglich kalt. Dann wird die Heizung angestellt. Erklären Sie, warum die Anzeige des Thermometers anfänglich eine Änderungsrate von Null hat. Erklären Sie, warum man mit dem Thermometer trotz Verzögerung die stationäre Temperatur messen kann. [2 P.]

- e. Skizzieren Sie das Diagramm eines dynamischen Modells, mit dem das Heizen und Kühlen des Wassers und die Anzeige des Thermometers berechnet werden können, und schreiben Sie alle relevanten Gleichungen und Parameter dazu auf. Bauen Sie das Modell auf der Energiedarstellung auf. [4 P.]

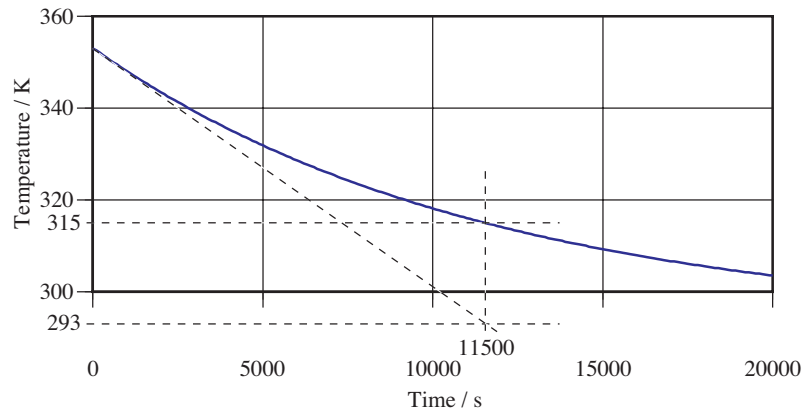
Solutions

a. Two (equivalent) methods:

(1) Measure initial rate of change of temperature, calculate rate of change of energy, calculate energy current, calculate energy conductance, calculate energy transfer coefficient.

(2) Measure time constant:

Initial temperature difference $T_w - T_a = 353 \text{ K} - 293 \text{ K} = 60 \text{ K}$. 63% of this equals $0.63 \cdot 60 \text{ K} = 38 \text{ K}$.



$$\tau_C = R_W C = \frac{1}{G_W} C = \frac{1}{Ah} mc$$

$$h = \frac{mc}{A\tau_C} = \frac{2.0 \cdot 4200}{2\pi \cdot 0.0985^2 \cdot 11500} \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2} = 12 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2}$$

b. Steady state:

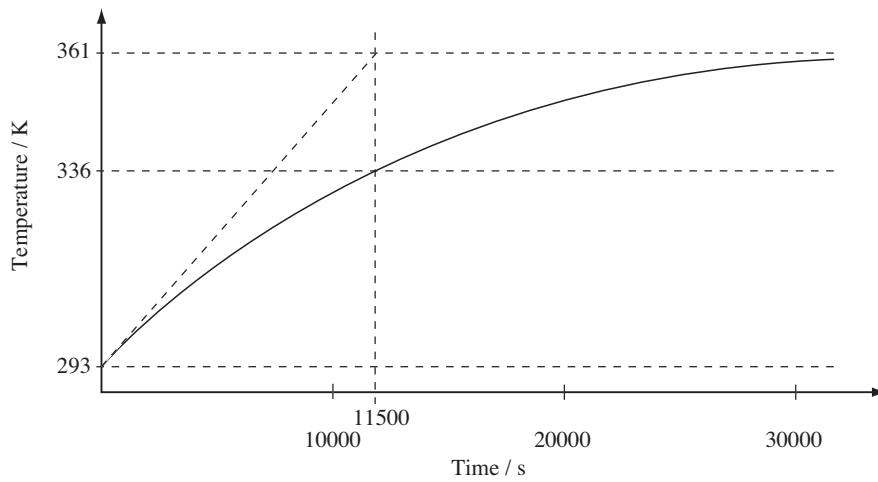
$$\mathcal{P}_{\text{heating}} = I_{W,\text{loss}}$$

$$\mathcal{P}_{\text{heating}} = Ah(T_{w,\text{max}} - T_a)$$

$$T_{w,\text{max}} = \frac{\mathcal{P}_{\text{heating}}}{Ah} + T_a = \frac{50}{2\pi \cdot 0.0985^2 \cdot 12} \text{K} + 293 \text{K} = 361.3 \text{K}$$

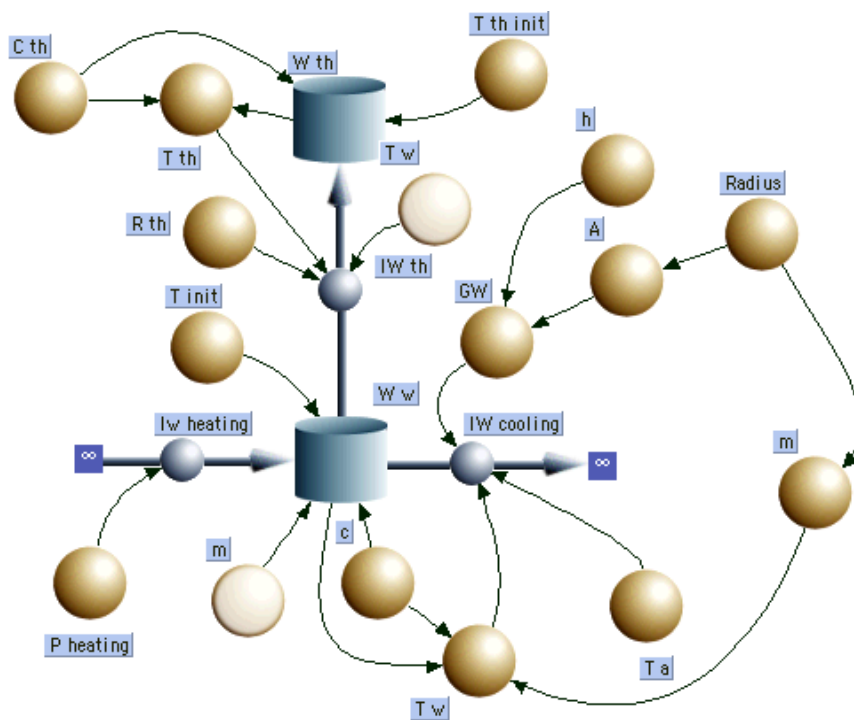
This corresponds to 88°C .

c. The time constant is the same as for cooling. Therefore:



- d. Anfänglich keine Temperaturdifferenz zwischen Thermometer und Wasser: kein Entropiestrom, keine Änderung der Temperatur des Thermometers.
 Man muss nur lange genug warten, dann gleicht sich die Temperatur des Thermometers an die konstante Temperatur des Wassers an.

e.



EQUATIONS

$$d/dt (W_w) = + Iw_{heating} - IW_{cooling} - IW_{th}$$

$$\text{INIT } W_w = m * c * T_{init}$$

$$d/dt (W_{th}) = + IW_{th}$$

$$\text{INIT } W_{th} = C_{th} * T_{th_init}$$

$$Iw_{heating} = P_{heating}$$

$$IW_{cooling} = GW * (T_w - T_a)$$

$$IW_{th} = (T_w - T_{th}) / R_{th}$$

$$T_w = W_w / (m * c)$$

$$T_{th} = W_{th} / C_{th}$$

$$GW = A * h$$

$$A = 2 * \text{PI} * \text{Radius}^2$$

$$m = 1000 * (4/3 * \text{PI} * \text{Radius}^3) / 2$$

$$C_{th} = 10$$

$$T_{th_init} = 293$$

$$R_{th} = 1$$

$$T_{init} = 293$$

$$P_{heating} = 200$$

$$c = 4200$$

$$T_a = 293$$

$$\text{Radius} = 0.07$$

$$h = 12$$