

Physik II für Medis 2022

Übungsgruppe

Stunde 7



Intro-Frage: Feuer

1) What heat transport mechanism is present when lighting a fire?

- (a) conduction.
- (b) convection.
- (c) radiation.
- (d) conduction and convection.
- (e) conduction, convection, and radiation.

2) If you sit next to a fire, what is the main heat transport mechanism that warms you up?



Credits to Giuseppe Lospalluto

Wärmeleitung

Wechselwirkung der Teilchen verursacht Ausbreitung von Wärme im Material.

Beispiel: Winter - Laternenpfosten - Zunge

Geleiteter Wärmestrom: $\dot{Q} = \lambda \frac{A}{l} \Delta T$
bzw. $\dot{Q} = \lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$ λ : Wärmeleitfähigkeit
 $[\lambda] = \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

Konvektion

Wärme wird mit strömendem Stoff mit transportiert.

Beispiel: Föhn

Wärmetransport

Wärmestrom \dot{Q} Wärmestromdichte $\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A}$
 $[\dot{Q}] = \text{J/s}$ $[\dot{q}] = \text{J}/(\text{m}^2\text{s})$

Wärmestrahlung

Körper mit endlicher Temperatur emittieren elektromagnetische Strahlung.

Beispiel: Sonnenstrahlung

Stefan-Boltzmann Gesetz $\dot{Q} = e\sigma AT^4$ e : Emissivität

Wärmebilanz in Umgebung mit T_0 $\dot{Q} = e\sigma A (T^4 - T_0^4)$

Schwarzer Strahler: $e = 1$

Wien'sches Verschiebungsgesetz $\lambda_{\text{max}} T = 2.898 \text{ mm K}$

Erwärmung der Erde durch die Sonne

Welchen Wärmestrom strahlt die Sonne in den gesamten Raumwinkel ab?

Nimm an: $T_S = 5700 \text{ K}$ $r_S = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$

$$\dot{Q} =$$

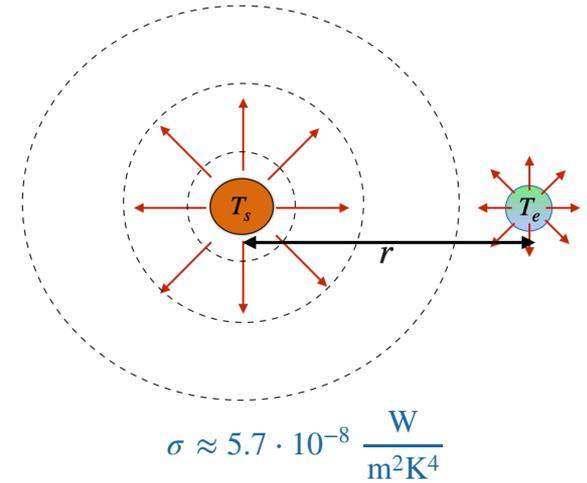
Wie berechnet man den Wärmestrom, den die Erde erhält?
Was ist die zugehörige Wärmestromdichte?

$$r = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$\dot{Q}_{in} = \dots \cdot \dot{Q} \qquad \dot{q}_{in} = \frac{\dot{Q}_{in}}{A_{\perp}} = \dots$$

Welche Temperatur müsste die Erdoberfläche entsprechend haben?

$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{in} \qquad T_E =$$



Erwärmung der Erde durch die Sonne

Welchen Wärmestrom strahlt die Sonne in den gesamten Raumwinkel ab?

Nimm an: $T_S = 5700 \text{ K}$ $r_S = 7 \cdot 10^8 \text{ m}$

$$\dot{Q} = \sigma \cdot 4\pi r_S^2 \cdot T^4 = 3.7 \cdot 10^{26} \text{ J}$$

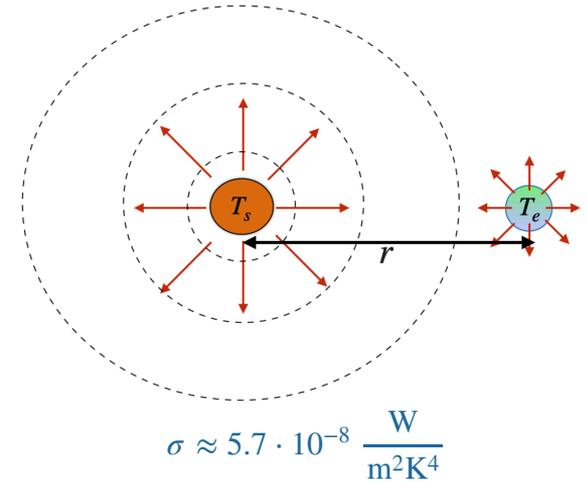
Wie berechnet man den Wärmestrom, den die Erde erhält?
Was ist die zugehörige Wärmestromdichte?

$$r = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$\dot{Q}_{in} = \frac{\pi r_E^2}{4\pi r^2} \cdot \dot{Q} \qquad \dot{q}_{in} = \frac{\dot{Q}_{in}}{\pi r_E^2} = \frac{\dot{Q}}{4\pi r^2} = 1310 \text{ J/m}^2$$

Welche Temperatur müsste die Erdoberfläche entsprechend haben?

$$\dot{Q}_{out} = \dot{Q}_{in} \qquad T_E = \sqrt[4]{\frac{\dot{Q}_{out}}{\sigma \cdot 4\pi r_E^2}} = \sqrt[4]{\frac{\dot{q}_{in}}{\sigma \cdot 4}} = 275 \text{ K} \approx 2^\circ\text{C}$$



Tatsächlich aber etwa 15°C
globaler Durchschnitt...
Was fehlt?

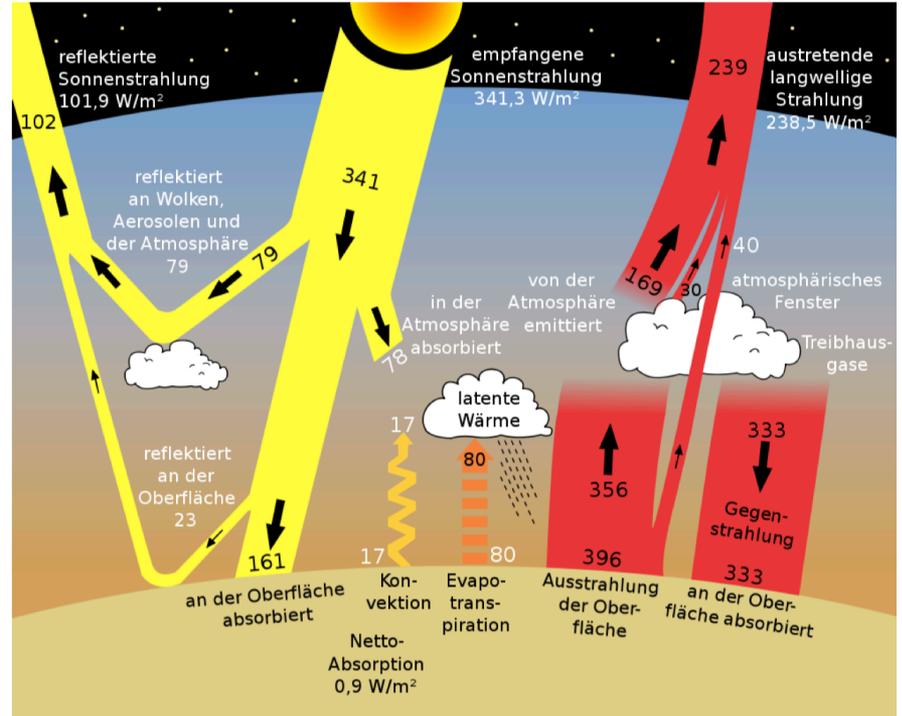
Treibhauseffekt und Oberflächentemperatur

Durch Treibhausgase in Atmosphäre wird ein Teil der Abgestrahlten Wärmestrahlung wieder auf die Erde zurückgeworfen.

Errechnete Gleichgewichtstemperatur gilt von aussen gesehen (Rand der Atmosphäre).

Oberflächentemperatur ist höher.

Diskussion zu Abbildung links:
Welche Wärmetransporte werden durch eine Zunahme der Treibhausgase beeinflusst?



Wärmeleitung in Schichten

Drei Schichten mit verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten trennen die beiden Temperaturen T_{min} und T_{max} .

Die Wärmestromdichte \dot{q} ist bekannt.

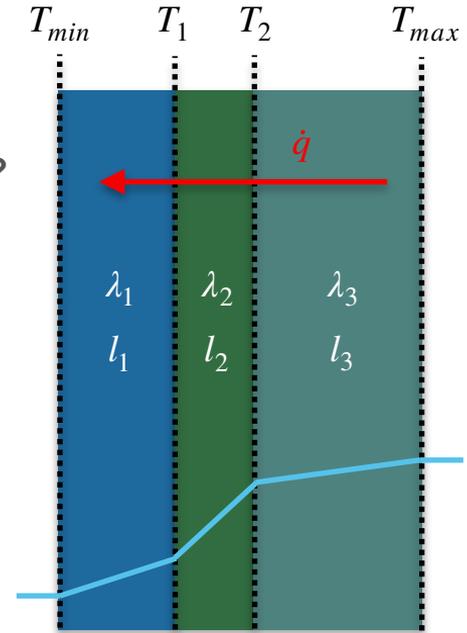
Wie hängen die beiden Temperaturen mit den gegebenen Größen zusammen?

A) Je Schicht: Drücke \dot{q} durch λ_i , l_i und ΔT_i aus

$$\dot{q} =$$

B) Berechne Ersatzwiderstand für Wärmeleitung: $R_{tot} =$

C) Berechne $\Delta T = T_{max} - T_{min}$:



Wärmeleitung in Schichten

Drei Schichten mit verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten trennen die beiden Temperaturen T_{min} und T_{max} .

Die Wärmestromdichte \dot{q} ist bekannt.

Wie hängen die beiden Temperaturen mit den gegebenen Größen zusammen?

A) Je Schicht: Drücke \dot{q} durch λ_i , l_i und ΔT_i aus

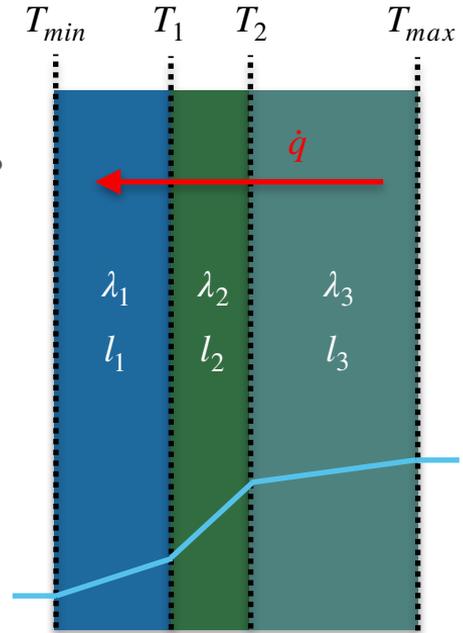
$$\dot{q} = \frac{\lambda_1}{l_1} (T_1 - T_{min}) \quad \dot{q} = \frac{\lambda_2}{l_2} (T_2 - T_1) \quad \dot{q} = \frac{\lambda_3}{l_3} (T_{max} - T_2)$$

B) Berechne Ersatzwiderstand für Wärmeleitung:

$$R_{tot} = \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3}$$

C) Berechne $\Delta T = T_{max} - T_{min}$:

$$\dot{q} = \frac{T_{max} - T_{min}}{R_{tot}} \rightarrow \Delta T = \dot{q} \cdot \left(\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} \right)$$



Strahlung im Kryostaten

Ein Kupferstab soll in einem Kryostaten auf 20 K abgekühlt werden.
Unsere Kältekraftmaschine hat eine Kühlleistung von 2 W.

Um Konvektion und Wärmeleitung zu vermeiden,
wird das Aluminium-Rohr vor dem Abkühlen evakuiert.

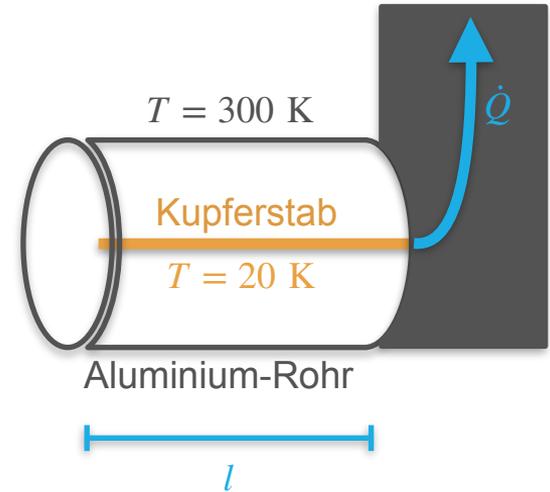
Welchen Wärmestrom strahlt der Kupferstab ab?

$$\dot{Q}_{Cu} =$$

Welchen Wärmestrom erfährt der Kupferstab im abgekühlten Zustand
durch Wärmestrahlung des umgebenden Alu-Rohrs?

$$\dot{Q}_{Al} =$$

Funktioniert unser Kühlsystem?



$$l = 2\text{ m}$$

$$r_{Alu} = 50\text{ mm} \quad e_{Al} = 0.1$$

$$r_{Cu} = 15\text{ mm} \quad e_{Cu} = 1$$

$$\sigma \approx 5.7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$$

Strahlung im Kryostaten

Ein Kupferstab soll in einem Kryostaten auf 20 K abgekühlt werden. Unsere Kältekraftmaschine hat eine Kühlleistung von 2 W.

Um Konvektion und Wärmeleitung zu vermeiden, wird das Aluminium-Rohr vor dem Abkühlen evakuiert.

Welchen Wärmestrom strahlt der Kupferstab ab?

$$\dot{Q}_{Cu} = -e_{Cu} A_{Cu} \sigma T_{Cu}^4 \quad A_{Cu} = 2\pi r_{Cu} \cdot l \quad \dot{Q}_{Cu} = -0.002 \text{ J}$$

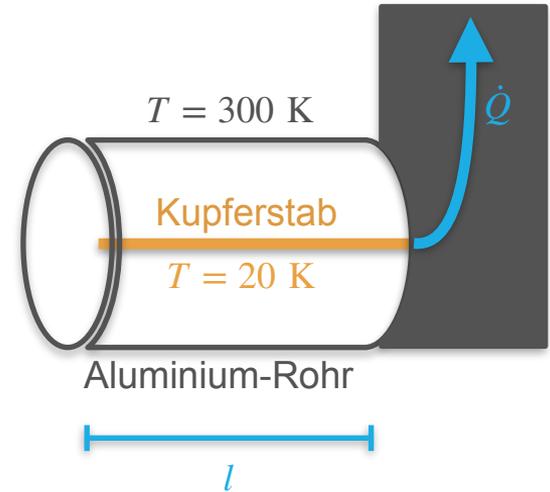
Welchen Wärmestrom erfährt der Kupferstab im abgekühlten Zustand durch Wärmestrahlung des umgebenden Alu-Rohrs?

$$\dot{Q}_{Al} = e_{Al} e_{Cu} A_{Cu} \sigma T_{Al}^4 \quad \dot{Q}_{Al} = 8.7 \text{ J}$$

Funktioniert unser Kühlsystem?

Nein, die eingestrahlte Wärmeleistung ist grösser als die Kühlleistung.

Idee zur Verbesserung: guter Isolator um Kupferstab, mit grosser Reflektivität (kleinem e). Dann sinkt Wärmeaufnahme.



$$\begin{aligned} l &= 2 \text{ m} \\ r_{Alu} &= 50 \text{ mm} & e_{Al} &= 0.1 \\ r_{Cu} &= 15 \text{ mm} & e_{Cu} &= 1 \\ \sigma &\approx 5.7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \end{aligned}$$

Intro-Frage: Feuer

1) What heat transport mechanism is present when lighting a fire?

- (a) conduction.
- (b) convection.
- (c) radiation.
- (d) conduction and convection.
- (e) conduction, convection, and radiation.

2) If you sit next to a fire, what is the main heat transport mechanism that warms you up?

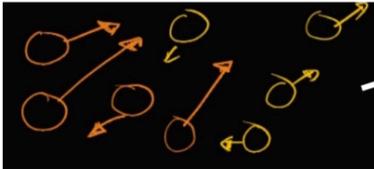


Credits to Giuseppe Lospalluto

Intro-Frage: Feuer

1) What heat transport mechanism is present when lighting a fire?

Electromagnetic radiation from acceleration of charged particles. Light from the fire and heat



Combustion reaction creates energy: kinetic energy is transferred to neighbouring molecules by collisions

Credits to Giuseppe Lospalluto

Intro-Frage: Feuer

2) If you sit next to a fire, what is the main process which warms you up?

- Air is a poor thermal conductor -> Not much heat from the campfire via conduction. Ignore if you sit 1-2 metres away.
- The thermal radiation from the fire spreads out in all directions and reaches you. This thermal radiation is mostly in the form of infrared waves and visible light.
- The campfire heat transferred via convection shoots straight up into the sky and never reaches you (i.e. hot air billows upwards)

Almost 100% of the heat that you receive from the fire is transferred through thermal radiation.

→ This is why the side of your body facing the fire gets hot while the side facing away from the fire stays cold (you are in the shadow).

Credits to Giuseppe Lospalluto