

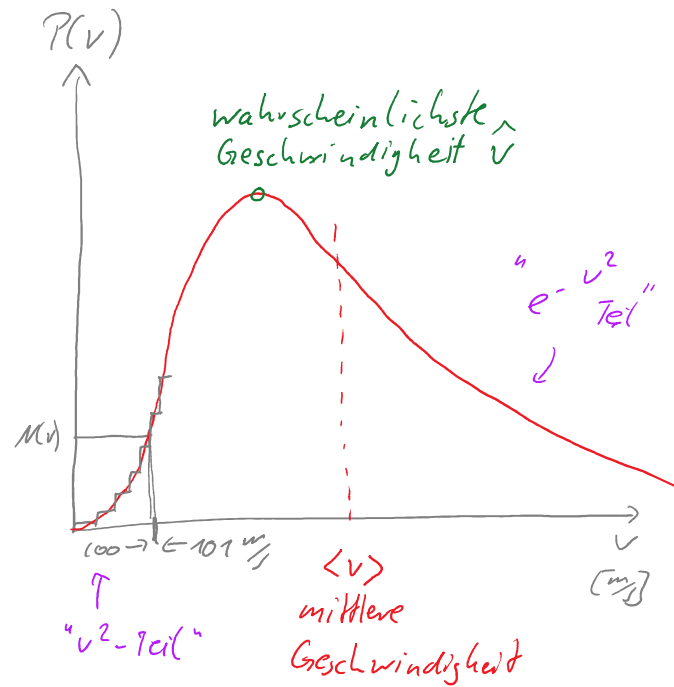
6.3.3. MAXWELL - BOLTZMANN - VERTEILUNG

in Wirklichkeit haben nicht alle Atome/Moleküle $v = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$ sondern sie stoßen untereinander und übertragen dabei Energie.

↳ Geschwindigkeitsverteilung

$$P(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}}$$

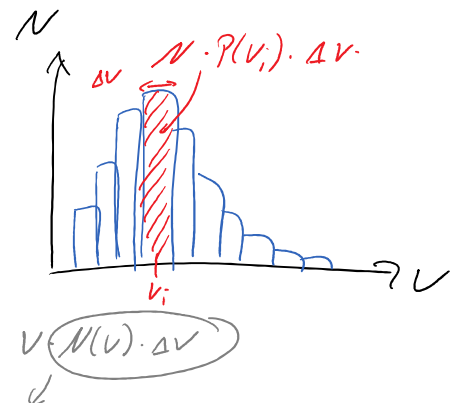
↑ Wahrscheinlichkeit für Geschwindigkeit v
 ↑ Temperatur
 ↑ Normierung $\int_0^\infty P(v) dv = 1$
 "jedes Atom hat irgendeine Geschwindigkeit"
 "e^{-v²}-Teil"



wahrscheinlichste Geschwindigkeit

$$\hat{v} = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}} \quad (\text{aus } \frac{dP(v)}{dv} = 0)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} m \hat{v}^2 = k_B T$$



mittlere Geschwindigkeit

$$\langle \underline{v} \rangle = \frac{1}{N} (v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_N) = \frac{1}{N} \sum_i v_i \cdot N(v_i) = \int \underline{v} \cdot P(v) dv$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8}{\pi}} \sqrt{\frac{k_B T}{m}} \approx 1,13 \hat{v}$$

↳ höher als die wahrscheinlichste Geschwindigkeit

Wärme mit Temperatur T entspricht einer zufälligen Bewegung mit der mittleren Geschwindigkeit $\langle v \rangle$

mittlere kinetische Energie:

$$\langle v^2 \rangle \int v^2 P(v) dv = \frac{3 k_B T}{m} = \frac{3}{2} \hat{v}^2$$

$$\langle E_{kin} \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B \cdot T \quad \leftarrow$$

z.B. N_2 bei Raumtemp.

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8}{\pi} \frac{k_B \cdot T}{m_{N_2}}} = 422 \frac{m}{s}$$

atomare Masseneinheit
 $1u = 1.7 \cdot 10^{-27} kg$

mit $m_{N_2} = 2 \cdot m({}_{7}^{14}N) = 2 \cdot 14u = 4.7 \cdot 10^{-26} kg$

$$\langle E_{kin} \rangle = 0.6 \cdot 10^{-20} J \text{ pro Molekül}$$

unabhängig vom Gas!

6.4. WÄRME

Energie die in Form von **inneren Anregungen**

eines Körpers gespeichert ist (Bewegung von Atomen/Molekülen, Gitterschwingungen, etc.)

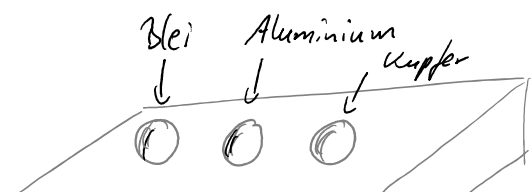
Veränderung der Wärme

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad [J] \text{ früher } 1cal = 4,168 J$$

$\uparrow$ Wärmemenge $\uparrow$ Masse $\uparrow$ Temperaturänderung
 Spezifische Wärmekapazität

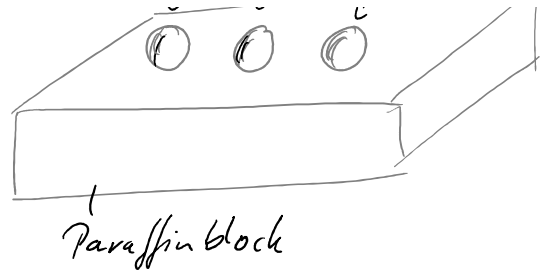
Versuch: heiße Metallkugeln

... ..



Versuch: heiße Metallkugeln

- 3 Metallkugeln
- 100°C



→ Eindringtiefe unterschiedlich

$$h_{Cu} > h_{Al} > h_{Pb}$$

⇒ abgegebene Wärmemenge unterschiedlich $\Delta Q \propto h$

aber: gleiche Ausgangs- & Endtemperatur

↳ unterschiedliche Wärmekapazität $C_{Cu} > C_{Al} > C_{Pb}$

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad c: \text{spezifische Wärmekapazität} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] \leftarrow$$

$$= \frac{C_M}{M} \cdot m \cdot \Delta T \quad C_M: \text{molare} \quad \left[\frac{J}{mol \cdot K} \right]$$

$$= C_M \cdot n \cdot \Delta T \quad M: \text{molare Masse} \quad \left[\frac{kg}{mol} \right]$$

↳ Stoffmenge in mol

Für fast alle Metalle gilt:

$$C_M \approx 25 \frac{J}{mol \cdot K} (\approx 3R) \quad (\text{Dulong - Petit'sche Regel})$$

↳ gespeicherte Energie pro Atom ist gleich!

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T = \frac{C_M}{M} \cdot \rho \cdot V \Delta T \propto \frac{\rho}{M}$$

⇒ Die Kupferkugel enthält die meisten Atome

Andere Stoffe

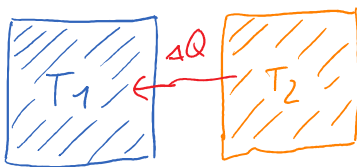
• Graphit $C_M = 8,5 \frac{J}{mol \cdot K}$ } (Gitter-) Struktur

Metall	$\frac{\rho}{M} \left[\frac{mol}{m^3} \right]$
Cu	$1,4 \cdot 10^5$
Al	$1,0 \cdot 10^5$
Pb	$0,55 \cdot 10^5$

- Graphit $C_M = 8,5 \frac{J}{mol \cdot K}$ (Gitter-) Struktur des Stoffes ist wichtig
- Diamant $C_M = 5,9 \frac{J}{mol \cdot K}$
- Wasser $C_M = 75,3 \frac{J}{mol \cdot K} \rightarrow$ exzellente Wärmespeicher (Klima!)
- Gase $\rightarrow$ Kap. 6.5

6.5. WÄRMETRANSPORT

... tritt auf bei Verbindung zweier Körper (Wärmereservoirs) mit unterschiedlichen Temperaturen.



$T_2 > T_1$: Wärmetransport bis

$T_2' = T_1' = T$ mit $T_2 > T > T_1$

a) Wärmeleitung

$\hookrightarrow$ direkter Kontakt

Temperaturunterschied

$$\phi = \frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

Phi

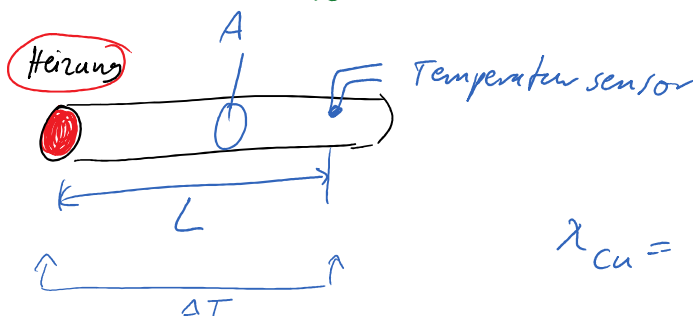
[W]

Querschnitt

Länge

Wärmeleitfähigkeit $\left[\frac{W}{K \cdot m} \right]$
lambda

Versuch:
Wärmeleitung



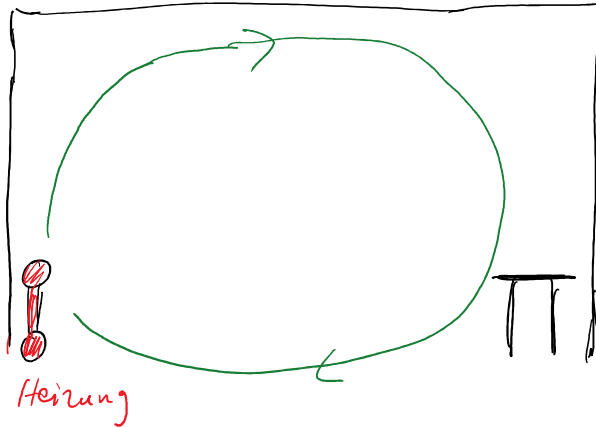
$$\lambda_{Cu} = 385 \frac{W}{K \cdot m}$$

$$\lambda_{Al} = 209 \frac{W}{K \cdot m}$$

$$\lambda_{\text{MS}} = 709 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}}$$

↑ Messing

b) Wärmestromung (Konvektion)



Transport von Material
mit verschiedenen Temperaturen
(z.B. Konvektion wg. Dichteänderung)

$$\Delta Q = c \cdot \underline{\Delta m} \cdot \Delta T$$

c) Wärmestrahlung

elektromagnetische Strahlung (infrarot) auch im Vakuum (Sonne)

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

epsilon
(Emissivität)

sigma

Stefan-Boltzmann-Konstante

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

Abstrahleffizienz

$$0 < \epsilon < 1$$