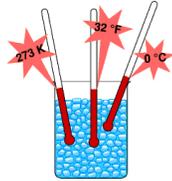


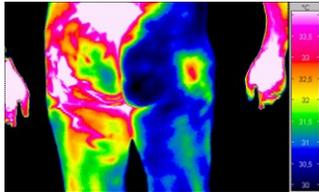
Grundlagen der medizinischen Biophysik

6. Vorlesung 27. 09. 2019

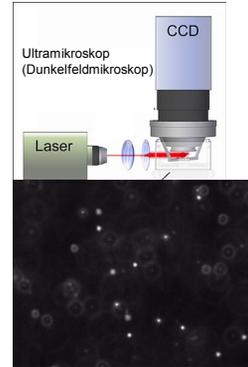
Wärmelehre



1. Thermische Energie
2. Temperatur und Temperaturskalen
3. Wärme
4. Wärmekapazität und spezifische Wärmekapazität
5. Aggregatzustände
6. Phasenumwandlung und Umwandlungswärme
7. Ideales Gas



Thermische Bewegung und thermische Energie



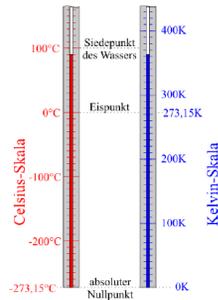
Die thermische Energie eines Körpers umfasst die Energie der verschiedenen Bewegungen (Translation, Vibration, Rotation) der Teilchen innerhalb eines Körpers.

- Die Temperatur ist ein Maß für die thermische Energie des Körpers

$$\left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT \right)$$

Temperatur und Temperaturskalen

- Ein zentraler Begriff der Wärmelehre ist die Temperatur (SI-Basisgröße)
- Sie charakterisiert den Zustand des jeweiligen Körpers und ein **Maß für die thermische Energie** des Körpers
- Gemessen wird die Temperatur in der Physik auf der **Kelvin-Skala** (Einheit: Kelvin)
- Die Kelvin-Skala besitzt einen **absoluten Nullpunkt** (0 K), aber keine obere Grenze
- Beim absoluten Nullpunkt würden, sofern dieser erreicht werden könnte, sich die Teilchen des Körpers nicht mehr bewegen
- Viele Eigenschaften von Körpern verändern sich abhängig von ihrer jeweiligen Temperatur, wie z.B.:
 - Volumen (thermische Ausdehnung)
 - Farbe
 - Elektrischer Widerstand
 - Druck eines Gases
- Die zwei Temperaturskalen sind im Vergleich zueinander verschoben – die Schritte der beiden Skalen sind jedoch gleich groß



$$t_{\text{Celsius}} = T_{\text{Kelvin}} - 273$$

$$T_{\text{Kelvin}} = t_{\text{Celsius}} + 273$$

Wärme und Wärmekapazität

Wärme (Formelzeichen Q): Die von einem Körper auf den anderen übertragene thermische Energie.

Eine alte Maßeinheit ist die Kalorie (cal): 1 cal = 4,186 J

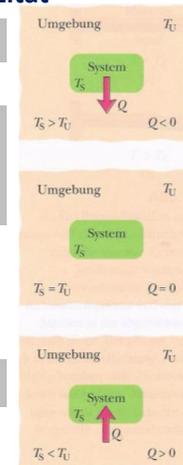
Mit Hilfe der **Wärmekapazität C** kann ein Zusammenhang zwischen der Temperaturänderung ΔT eines Körpers und der dabei aufgenommenen oder abgegebenen Wärme Q hergestellt werden:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right)$$

- Möchte man die Temperatur eines Körpers erhöhen, so muss ihm Wärme zugeführt werden: Q und ΔT sind positiv
- Möchte man die Temperatur eines Körpers erniedrigen, so muss Wärme von ihm abgeführt werden: Q und ΔT sind negativ
- Die Wärmekapazität eines Körpers hängt von dem Material des Körpers und seiner Masse ab, $C \sim m \rightarrow$

Spezifische Wärmekapazität c : $c = \frac{C}{m} \left(\frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \right)$

Die Kombination der zwei Formeln: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$



Übung

Aufgabe:

Man möchte 2 dl Orangensaft von 28°C auf 8°C abkühlen. Wie viel Wärme muss entzogen werden? (Die Dichte des Saftes beträgt 1,02 g/cm³.)



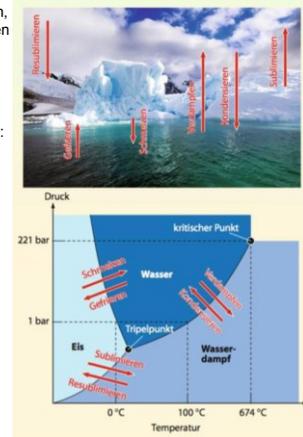
Material	Spez. Wärmekapazität, c (J/kg·K)
Saft	4100



5

Aggregatzustände

- Aggregatzustände sind Erscheinungsformen, in denen ein Stoff abhängig von den äußeren Bedingungen (z.B. Temperatur und Druck) vorliegen kann
- Man unterscheidet dabei zwischen den 3 Zuständen: **fest**, **flüssig** und **gasförmig**
- Wasser kann so in drei Zuständen auftreten: Eis, flüssiges Wasser und Wasserdampf
- Die unterschiedlichen Zustände haben gewisse Eigenschaften:
 - Fest:** bestimmtes Volumen und bestimmte Gestalt
 - Flüssig:** bestimmtes Volumen, aber keine bestimmte Gestalt
 - Gasförmig:** kein bestimmtes Volumen und keine bestimmte Gestalt



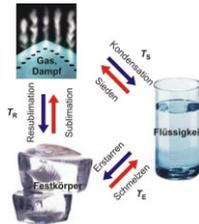
6

Phasenumwandlung und Umwandlungswärme

- Die Umwandlungswärme Q entspricht der Menge an Wärme, die bei einer Phasenumwandlung einem Körper zu- oder abgeführt werden muss
- Es gilt: $Q \sim m$, die Umwandlungswärme ist also proportional zur Masse des Körpers →

$$\text{Spezifische Umwandlungswärme: } q = \frac{Q}{m} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

- Abhängig davon, von was für einem Phasenübergang man spricht, hat die spezifische Umwandlungswärme einen eigenen Namen, z.B.:
 - Spezifische Schmelzwärme
 - Spezifische Verdampfungswärme



Stoff	q (kJ/kg)
Gold — Schmelzwärme	67
Aluminium — Schmelzwärme	396
NaCl — Schmelzwärme	517
Eis — Schmelzwärme	334,4
Wasser — Verdampfungswärme bei 30°C und 101 kPa	2400
Wasser — Verdampfungswärme bei 100°C und 101 kPa	2257

7

Übung

Fortsetzung der Aufgabe von der Folie 5:
Man möchte den Saft mit Hilfe von Eiskugeln aus dem Gefrierschrank (−18°C) abkühlen. Wie viel Gramm Eis braucht man dazu? (Wie viele Kugeln muss man in den Saft werfen, wenn eine Kugel eine Masse von 50 g hat?)

Material	c (J/kg·K)	spez. Schmelzwärme q (kJ/kg)
Eis	2090	334,4
Wasser	4180	

8

Ideales Gas

Ein **Modell** eines Gases mit folgenden Eigenschaften:

- Gasteilchen sind punktförmig
- Gasteilchen besitzen kein Volumen
- Keine Wechselwirkung zwischen den einzelnen Teilchen (Ausnahme: elastische Stöße untereinander bzw. mit der Wand des Gefäßes)

Bemerkung:

Im Gegensatz zu den extrem vereinfachten idealen Gasen hat jedes Teilchen eines realen Gases ein Volumen und steht immer wieder über Anziehungs- und Abstoßungskräfte mit seinen Nachbarn in Wechselwirkung.

$p \sim T$
 $p \sim N$
 $p \sim \frac{1}{V}$

Allgemeine Zustandgleichung eines idealen Gases:

$$pV = NkT$$

Boltzmann-Konstante
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Alternativform: $pV = \nu RT$

Universelle Gaskonstante
 $R = 8,31 \text{ J/(molK)}$

9

Übung



a) Etwa wie viele „Luftmoleküle“ gibt es in dem Hörsaal?

b) Wie viel Mol heißt das?

c) Etwa wie groß ist die Masse der Luft in dem Raum?

10

Hausaufgaben: Grundschrift Kapitel 10 und 11



11