Ph 9 Mechanische Energie 1

- **Energie** tritt in **verschiedenen Formen** auf, die ineinander **umgewandelt** werden können.
- Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden:

  Die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System bleibt erhalten.

  Energieerhaltungssatz

- **Höhenenergie** (eine Form von potenzieller Energie): $E_H = m \cdot g \cdot h$ mit $g = 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

  Energie eines Körpers der Masse m in der Höhe h über dem (frei wählbaren) Nullniveau.

- **kinetische Energie** (Bewegungsenergie): $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

- **Spannenergie** (eine weitere Form potenzieller Energie): $E_{spann} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot x^2$

  Energie einer Feder der Federhärte D, die um x gedehnt/gestaucht wird.

- Einheit der Energie: $[E] = \mathbf{1\,J}$ **(Joule)** $= 1\,\mathrm{Nm} = 1\,\mathrm{N} \cdot \mathrm{m} = 1\,\frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \mathrm{m} = 1\,\frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$

Ph 9 Arbeit und Leistung 2

- Wird einem System mechanisch (durch eine Krafteinwirkung)
  Energie E zugeführt oder entzogen, dann wurde **Arbeit W** verrichtet:

  $W = \Delta E$ **Arbeit ist Energieänderung**

- Arbeit und Energie besitzen dieselbe Einheit: $[W] = [E] = \mathbf{1\,J}$ **(Joule)** $= 1\,\mathrm{Nm} = 1\,\frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^2}{\mathrm{s}^2}$

- Wirkt auf einen Körper eine konstante Kraft F entlang eines Weges Δx ein, so gilt:

  $W = F \cdot \Delta x$ ***F* ist Kraft in Wegrichtung!**

- Hubarbeit: $W_H = \Delta E_H = m \cdot g \cdot \Delta h = F_G \cdot \Delta h$

  Die verrichtete Hubarbeit hängt nur von der **Höhendifferenz** ab,
  nicht vom speziell gewählten Weg:
  Doppelter Weg = halbe Kraft (bei gleicher Arbeit)

- Die **Leistung P** beschreibt, in welcher Zeit man eine bestimmte Arbeit verrichtet:

  $P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ Einheit: $[P] = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = \mathbf{1\,W}$ **(Watt)**

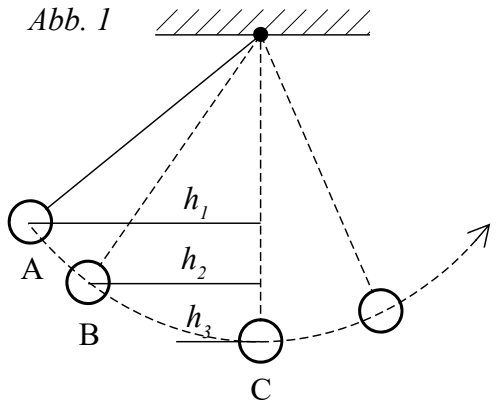
Ph 9 Mechanische Energie – Aufgaben 1

(1) Ein Trampolinspringer hat eine Masse von 65 kg, das Trampolin eine Spannenergie von 1,6 kJ. Berechne die maximale Sprunghöhe.

(2) Im sog. **freien Fall** wirken auf einen Körper **außer der Gewichtskraft keine weiteren Kräfte** (also auch insbesondere keine Luftreibungskraft). Zeige, dass die Geschwindigkeit, die ein Körper im freien Fall erreicht, nicht von seiner Masse abhängt.

(3) Bei einem Fadenpendel (vgl. *Abb. 1*) soll die Reibung vernachlässigt werden. Beschreibe die Veränderung der beiden beteiligten mechanischen Energieformen qualitativ und quantitativ.

Abb. 1



(1) $E_{Spann} = m \cdot g \cdot h = E_H \quad \Leftrightarrow \quad h = \frac{E_{Spann}}{m \cdot g} = \frac{1{,}6 \cdot 10^3\,\text{J}}{65\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\text{ms}^{-1}} = 2{,}509...\,\text{m} \approx 2{,}5\,\text{m}$

(2) $E_H = m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = E_{kin} \quad \Leftrightarrow \quad v^2 = 2 \cdot g \cdot h \quad \Leftrightarrow \quad v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$, die Geschwindigkeit hängt also nur von der Höhe ab!

(3) Energieerhaltung: Die Gesamtenergie des Pendels bleibt erhalten. Bei der maximalen Auslenkung im Punkt A besitzt das Pendel nur Höhenenergie $E_H = m \cdot g \cdot (h_1 - h_3)$ (Das Nullniveau ist bei h_3). Wenn der Pendelkörper an Höhe verliert, wandelt sich nach und nach immer mehr dieser Höhenenergie in kinetische Energie um: Bei B besitzt das Pendel nur noch 50% der anfänglichen Höhenenergie, da $(h_2 - h_3) = \frac{1}{2} \cdot (h_1 - h_3)$. Die anderen 50% wurden in kinetische Energie umgewandelt. Im Punkt C besitzt der Pendelkörper nur noch kinetische Energie $E_{kin} = E_H = m \cdot g \cdot (h_1 - h_3)$, seine Höhenenergie ist Null.

Ph 9 Arbeit und Leistung – Aufgaben 2

(1) Der Motor eines PKW ($m = 1{,}5\,\text{t}$) kann eine Leistung von 120 kW zur Verfügung stellen.

(a) Berechne die maximale Geschwindigkeit in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, die der PKW nach 8,0 s erreichen kann.

(b) Bestimme die Zeit, in der dieser PKW eine Höhendifferenz von 400 m auf einer Passstraße überwinden könnte. [Zwischenergebnis: $E_H = 5{,}9\,\text{MJ}$]

(c) Ermittle die Kraft, die der PKW auf die Straße bringt, wenn die Länge der Passstraße 2,7 km beträgt. Gib an, wie lange die Steigung sein müsste, damit man mit einem Drittel dieser Kraft auskommt.

(d) Gib Gründe dafür an, dass die in (a) und (b) theoretisch berechneten Werte in der Praxis nicht erreicht werden können.

(2) Beschreibe den Unterschied zwischen Arbeit und Leistung; gehe dabei auch auf die Verwechslungsgefahr zwischen W und 1 W ein.

(1) (a) $\Delta E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - 0 = P \cdot \Delta t \quad \Leftrightarrow \quad v = \sqrt{2 \cdot P \cdot \Delta t : m} = \sqrt{2 \cdot 120 \cdot 10^3\,\text{W} \cdot 8{,}0\,\text{s} : 1500\,\text{kg}} = \sqrt{1280}\,\text{ms}^{-1} = 35{,}7770...\,\text{ms}^{-1}$

$\Rightarrow \quad v = (35{,}7770... \cdot 3{,}6)\,\text{kmh}^{-1} = 128{,}79...\,\text{kmh}^{-1} \approx 129\,\text{kmh}^{-1}$

(b) $\Delta E_H = m \cdot g \cdot h = P \cdot \Delta t \quad \Leftrightarrow \quad \Delta t = m \cdot g \cdot h : P = 1500\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\text{ms}^{-2} \cdot 400\,\text{m} : (120 \cdot 10^3\,\text{W}) = 49{,}05\,\text{s} \approx 49\,\text{s}$

(c) $E_H = F \cdot \Delta x \quad \Leftrightarrow \quad F = E_H : \Delta x = 5{,}9 \cdot 10^6\,\text{J} : 2700\,\text{m} = 2185{,}1...\,\text{N} \approx 2{,}2\,\text{kN}$; 3-mal so lang: $3 \cdot 2{,}7\,\text{km} = 8{,}1\,\text{km}$

(d) Ein Teil der Motorenergie kann nicht in Höhenenergie bzw. kinetische Energie umgewandelt werden, sondern geht als Wärme durch Reibungseffekte „verloren“. Man sagt, der entsprechende Energieanteil wird entwertet.

(2) Arbeit wird verrichtet, wenn die Energie eines Körpers geändert wird. Leistung gibt an, in welcher Rate Arbeit verrichtet wird, also wie viel Arbeit pro Zeit geleistet wird. Das Größenkürzel W bezeichnet die Arbeit („work“), 1 W dagegen ist die Einheit der Leistung P („power“).

Ph 9 Ladung, Stromstärke, Potential, Spannung 3

- **Elementarladung *e* :** kleinste in der Natur vorkommende Ladung

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$$

Ladungen Q auf Gegenständen treten nur als ganzzahliges Vielfaches von e auf:

$Q = N \cdot e$ mit $N \in \mathbb{Z}$ Einheit: $[Q] = 1\,\mathrm{As} = 1\,\mathrm{C}$

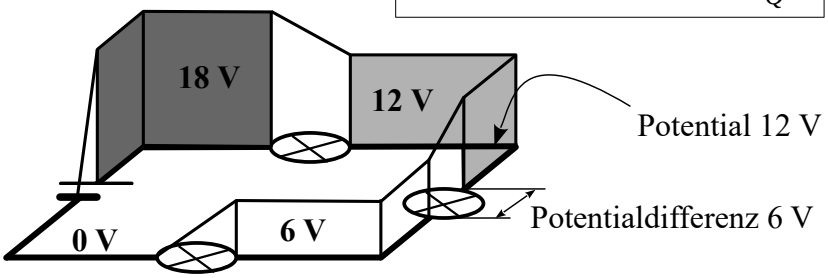
- **Elektrische Stromstärke *I* :** $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\textit{geflossene Ladung}}{\textit{Zeitintervall}}$ Einheit: $[I] = 1\,\mathrm{A} = 1\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}$

- **Elektrisches Potential *φ* :** gibt an, wie viel potentielle Energie pro Ladung bzgl. eines Nullpunkts vorhanden ist Einheit: $[\varphi] = 1\,\mathrm{V}$ (Volt)

- **Elektrische Spannung *U* :** gibt die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten A und B an

$$U_{AB} = \Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A = \frac{\Delta E_{pot}}{Q}$$

$[U] = 1\,\mathrm{V}$ (Volt)



Potential als Höhenmodell

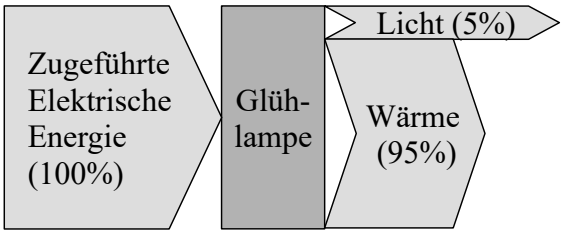
Ph 9 Elektrische Energie / Leistung, Wirkungsgrad 4

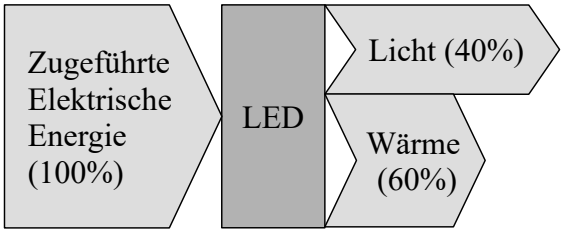
- **elektrische Energie:** $E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t = U \cdot \Delta Q$ Einheit: $[E_{el}] = 1\,\mathrm{VAs} = 1\,\mathrm{J}$

- **elektrische Leistung:** $P_{el} = \frac{W_{el}}{\Delta t} = \frac{\Delta E_{el}}{\Delta t} = U \cdot I$ Einheit: $[P_{el}] = 1\,\mathrm{VA} = 1\,\mathrm{W}$

- **Wirkungsgrad:** $\eta = \frac{E_{nutz}}{E_{zu}} = \frac{W_{nutz}}{W_{zu}} = \frac{P_{nutz}}{P_{zu}}$

Anteil der zugeführten Energie, der nutzbringend verwendet wird.





Beleuchtung:	$\eta_{Licht} = 5\,\%$	$\eta_{Licht} = 40\,\%$
Heizung:	$\eta_{Heiz} = 95\,\%$	$\eta_{Heiz} = 60\,\%$

Ph 9 Ladung, Stromstärke, Potential, Spannung – Aufgaben 3

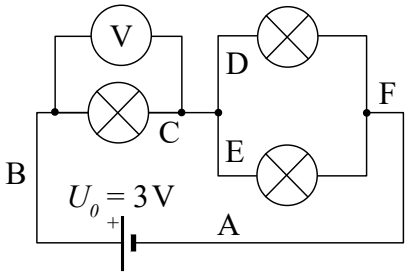
(1) Die „Akkukapazität“ eines Smartphones wird mit 3000 mAh angegeben.

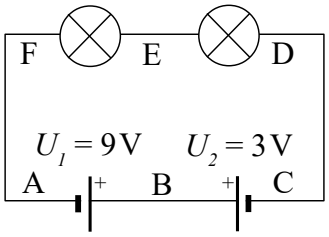
(a) Begründe, welche physikalische Größe mit dem Begriff „Akkukapazität“ gemeint ist.

(b) Berechne die Anzahl an Elektronen, die maximal in diesem Akku gespeichert werden können.

(c) Das Smartphone soll eine Sprechzeit von bis zu 17,5 h und eine Stand-by-Zeit von bis zu 450 h ermöglichen. Berechne den Betrag der Stromstärke, die dabei jeweils durchschnittlich im Smartphone zu messen wäre.

(2) Gib für die beiden unten stehenden Schaltbilder jeweils die Potentiale an den Punkten B bis F an, wenn lauter identische Lämpchen verwendet wurden, das Potential im Punkt A 0 V beträgt und das Voltmeter der linken Schaltung 2 V anzeigt.





(1) (a) Die Einheit mAh kann in As umgewandelt werden: $1\,\text{mAh} = 0{,}001\,\text{Ah} = 0{,}001 \cdot 3600\,\text{As} = 3{,}6\,\text{As} = 3{,}6\,\text{C}$.
Damit handelt es sich um eine Ladung.

(b) $3000\,\text{mAh} : (1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{As}) = 3000 \cdot 3{,}6\,\text{As} : (1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{As}) = 6{,}750 \cdot 10^{22}$ Elektronen der Elementarladung e.

(c) $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{3\,\text{Ah}}{17{,}5\,\text{h}} = 0{,}17142\ldots\,\text{A} \approx 171\,\text{mA}$ $\qquad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{3\,\text{Ah}}{450\,\text{h}} = 6{,}666\ldots \cdot 10^{-3}\,\text{A} \approx 6{,}67\,\text{mA}$

(2) links: (A = F) 0 V , (B) 3 V , (C = D = E) 1 V ; rechts: (A = F) 0 V , (B) 9 V , (C = D) 6 V , (E) 3 V

Ph 9 Elektrische Energie / Leistung, Wirkungsgrad – Aufgaben 4

(1) Rechne 1,0 kWh in J und 1,0 J in kWh um.

(2) Der Antriebsakku eines Elektroautos ist auf 85 kWh dimensioniert.

(a) Berechne die Ladezeit des Autos, wenn man es an eine Haushaltssteckdose anschließt, die 10 A Ladestrom liefert.

(b) Bestimme die notwendige Leistung, die eine Wallbox liefern müsste, um die Ladezeit auf 7,7 h zu verkürzen.

(c) Bei einer Geschwindigkeit von $100\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ nimmt das Auto eine Leistung von 15 kW auf. Schätze damit die maximale Reichweite des Autos für eine Akkuladung ab.

(3) Eine Halogenlampe wird am Haushaltsnetz mit einer Stromstärke von 183 mA betrieben.

(a) Bestimme die verfügbare Strahlungsleistung, wenn der Wirkungsgrad 12% beträgt.

(b) Ermittle, wie viele Stunden die Lampe betrieben wird, wenn eine innere Energie von 533 kJ an die Umgebung abgegeben wird.

(1) $1\,\text{kWh} = 1000 \cdot 3600\,\text{Ws} = 3{,}6 \cdot 10^6\,\text{J}$; $1\,\text{J} = 1\,\text{Ws} = 1 \cdot 10^{-3}\,\text{kWs} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3600}{3600}\,\text{kWs} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{3600}\,\text{kWh} \approx 2{,}8 \cdot 10^{-7}\,\text{kWh}$

(2) (a) $E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t \quad \Leftrightarrow \quad \Delta t = \frac{E_{el}}{U \cdot I} = \frac{85\,\text{kWh}}{230\,\text{V} \cdot 10\,\text{A}} = \frac{85 \cdot 3{,}6 \cdot 10^6\,\text{J}}{230\,\text{V} \cdot 10\,\text{A}} = 133043{,}4\ldots\,\text{s} = 36{,}95\ldots\,\text{h} \approx 37\,\text{h}$

(b) $E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t = P \cdot \Delta t \quad \Leftrightarrow \quad P = E_{el} : \Delta t = 85\,\text{kWh} : 7{,}7\,\text{h} = 11{,}03\ldots\,\text{kW} \approx 11\,\text{kW}$

(c) $E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t = P \cdot \Delta t \quad \Leftrightarrow \quad \Delta t = E_{el} : P = 85\,\text{kWh} : 15\,\text{kW} = 5{,}666\ldots\,\text{h} \approx 5{,}7\,\text{h}$ Man kann also für 5,7 h mit einer Geschwindigkeit von $100\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ fahren und hätte damit eine Reichweite von $5{,}7\,\text{h} \cdot 100\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 570\,\text{km}$.

(3) (a) $P_{nutz} = \eta \cdot P_{zu} = \eta \cdot P_{el} = \eta \cdot U \cdot I = 12\,\% \cdot 230\,\text{V} \cdot 0{,}183\,\text{A} = 5{,}0508\,\text{W} \approx 5{,}1\,\text{W}$

(b) $E_{nutz} = \eta \cdot E_{zu} = \eta \cdot E_{el} = \eta \cdot U \cdot I \cdot \Delta t \quad \Leftrightarrow \quad \Delta t = \frac{E_{el}}{\eta \cdot U \cdot I} = \frac{533 \cdot 10^3\,\text{J}}{88\,\% \cdot 230\,\text{V} \cdot 0{,}183\,\text{A}} = 14390{,}1\ldots\,\text{s} = 3{,}9972\ldots\,\text{h} \approx 4{,}0\,\text{h}$

Ph 9 Photonenmodell, Spektren 5

- Licht kann als **Strom von Lichtteilchen (Photonen)** beschrieben werden:
  - Photonen bewegen sich mit **Lichtgeschwindigkeit** fort.
  - Die **Energie eines Photons** bestimmt die **Farbe** des Lichts.
  - Ein Photon kann nur **als Ganzes erzeugt oder absorbiert** werden.
- **Violettes Licht ist energiereicher als rotes Licht.**
- Die Photonenenergie wird meist in der Einheit **Elektronenvolt (eV)** angegeben:

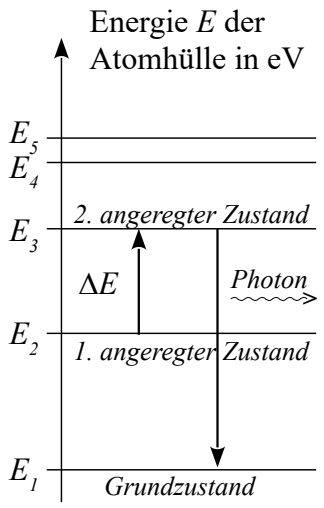
  $$1\,\text{eV} = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}\,\text{J}$$

- Eine Apparatur, die Licht in seine Spektralfarben zerlegt, heißt **Spektrometer.**
- Glühende Körper senden ein **kontinuierliches Spektrum** aus (Licht aller Spektralfarben).
- Jeder zum Leuchten angeregte Stoff sendet ein für ihn **charakteristisches Spektrum** von einzelnen Farben aus:
  - Da die Farben im Spektrometer als Linien nebeneinander zu sehen sind, spricht man von einem **Linienspektrum.**
  - Es heißt auch **diskretes Spektrum,** da nur einzelne Farben auftreten.
- **Emissionsspektrum** = Licht wird ausgesendet (kontinuierliches oder Linienspektrum)
- **Absorptionsspektrum** = Farben fehlen in einem kontinuierlichen Spektrum

Ph 9 Energiestufenmodell 6

- Die Atomhülle kann **nur bestimmte Energien annehmen:** Diese nennt man **Energiestufen** oder **Energieniveaus**
- Die Energieniveaus von Atomen sind **diskret.**
- Alle Atome eines Elements haben dieselben Energieniveaus.
- Atome nehmen Energie ΔE auf (= werden angeregt) durch:
  - **Stöße mit anderen Atomen** (= Wärme, Erhitzen)
  - **Stöße mit Elektronen** (= elektrischer Strom)
  - **Absorption eines geeigneten Photons**

  Die Atomhülle gelangt dabei auf eine höhere Energiestufe.
- Atome **emittieren Energie in Form eines Photons,** wenn die Atomhülle von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau übergeht.
- Die meisten angeregten Atome gehen innerhalb kürzester Zeit in den **energetisch günstigsten Zustand** (= Grundzustand) zurück.



Energieniveaudiagramm
Energiestufendiagramm
Termschema (eines Atoms)

- Trifft weißes Licht auf ein Gas, absorbieren die Gasatome nur ganz bestimmte Photonen des weißen Lichts, deren Energie zu entsprechenden Energiestufen passt. Ein für das Gas **charakteristisches Absorptionsspektrum** entsteht.

(1) Rechne die Energien um:
(a) Gib in J an: 25 eV, 140 keV, 13 MeV.
(b) Gib in eV an: 1,5 J, 27 kJ, 75 mJ.

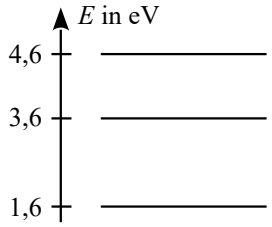
(2) Eine Quecksilberdampflampe emittiert u. a. Photonen der folgenden Energien: 1,99 eV, 2,15 eV, 2,27 eV, 2,52 eV, 2,84 eV und 3,06 eV.
(a) Ermittle die zugehörigen Farben für diese Energien.
(b) Gib an, um welche Art von Spektrum es sich handelt.
(c) Quecksilberdampflampen emittieren außerdem sehr viel UV-Licht: Erläutere, warum man nicht direkt in diese Lichtquelle schauen sollte.

Photonenenergie	Farbe
3,26 eV – 2,88 eV	violett
2,88 eV – 2,53 eV	blau
2,53 eV – 2,18 eV	grün
2,18 eV – 2,07 eV	gelb
2,07 eV – 1,94 eV	orange
1,94 eV – 1,59 eV	rot

(3) Man sprüht eine gelöste Bodenprobe in eine heiße Flamme, so dass sie selbst Licht aussendet. Erläutere unter Verwendung von Fachbegriffen, wie und warum man mit diesem Verfahren Giftstoffe in der Probe ermitteln kann.

(1) (a) $25\,\text{eV} = 25 \cdot 1{,}6022 \cdot 10^{-19}\,\text{As} \cdot \text{V} = 4{,}0055 \cdot 10^{-18}\,\text{J} \approx 4{,}0 \cdot 10^{-18}\,\text{J}$; $140\,\text{keV} = 140 \cdot 10^{3}\,\text{eV} \approx 2{,}2 \cdot 10^{-14}\,\text{J}$;
$13\,\text{MeV} = 13 \cdot 10^{6}\,\text{eV} \approx 2{,}1 \cdot 10^{-12}\,\text{J}$
(b) $1{,}5\,\text{J} = (1{,}5 : 1{,}6022 \cdot 10^{-19})\,\text{eV} \approx 9{,}4 \cdot 10^{18}\,\text{eV}$; $27\,\text{kJ} = 27 \cdot 10^{3}\,\text{J} \approx 1{,}7 \cdot 10^{23}\,\text{eV}$; $75\,\text{mJ} = 75 \cdot 10^{-3}\,\text{J} \approx 4{,}7 \cdot 10^{17}\,\text{eV}$
(2) (a) 1,99 eV = rot, 2,15 eV = orange, 2,27 eV = grün, 2,52 eV = grün (cyan), 2,84 eV = blau, 3,06 eV = violett
(b) Es handelt sich um ein charakteristisches Linienspektrum (diskretes Emissionsspektrum)
(c) UV-Licht ist sehr energiereich und kann daher die Augen schädigen.
(3) Ein zum Leuchten angeregter Stoff sendet nur ganz bestimmte charakteristische Farben aus: Wenn man das von der Bodenprobe stammende Licht daher mit einem Spektroskop in seine einzelnen Farben aufspaltet, kann man aus den unterschiedlichen Farben Rückschlüsse auf die enthaltenen Stoffe ziehen und somit Giftstoffe in der Probe über ihr charakteristisches Spektrum ermitteln.

(1) Das charakteristische Spektrum eines Atoms besitzt eine gelbe und eine violette Linie. Sein Termschema ist rechts abgebildet. Begründe, welche der folgenden Aussagen wahr bzw. falsch sind.
(a) Das Atom kann Photonen der Energie 1,6 eV absorbieren.
(b) Es können Photonen der Energie 3,6 eV ausgesandt werden.
(c) Die gelbe Linie gehört zu einer Photonenenergie von 1,0 eV.
(d) Es existiert eine Linie im nahen Infrarotbereich.
(e) Die Photonen der violetten Spektrallinie besitzen eine Energie von 3,0 eV.



(2) Bringt man ein Magnesiastäbchen mit Kochsalz in eine Bunsenbrennerflamme, so wirft diese im Licht einer Natriumdampflampe einen Schatten auf einem Beobachtungsschirm, während man im weißen Licht einer Glühlampe keinen Schatten sieht. Erkläre dieses Versuchsergebnis.

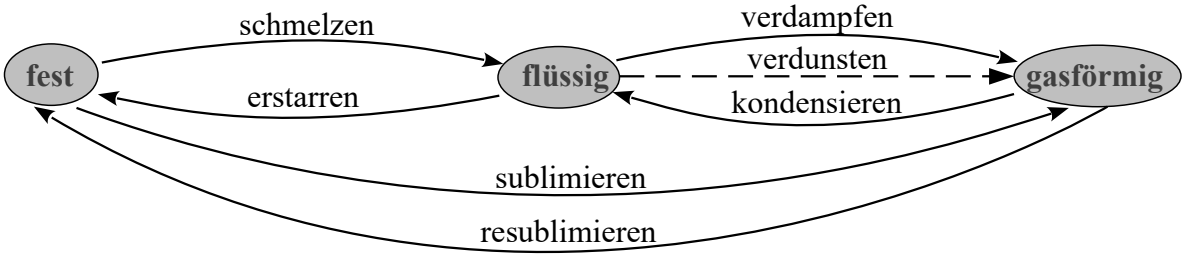
(3) Joseph Fraunhofer entdeckte im Spektrum der Sonne schwarze Linien, die nach inm benannt sind. Erkläre, wie man damit bestätigen kann, dass die Sonne Wasserstoff und Helium enthält.

(1) (a) und (b) sind falsch: Nicht die Werte der Energieniveaus sind entscheidend, sondern die Energie**unterschiede** zwischen den Niveaus. (c) ist falsch und (d) ist richtig, da der Energieunterschied $4{,}6\,\text{eV} - 3{,}6\,\text{eV} = 1{,}0\,\text{eV}$ knapp unterhalb der Grenze von etwa 1,6 eV für sichtbares (rotes) Licht liegt. (e) ist richtig: $4{,}6\,\text{eV} - 1{,}6\,\text{eV} = 3{,}0\,\text{eV}$, was im Bereich für violettes Licht (3,26 eV – 2,88 eV) liegt.
(2) Kochsalz besteht aus Natrium und Chlor. Die von der Natriumdampflampe emittierten gelben Photonen besitzen genau die richtige Energie, um vom Natrium des Kochsalzes in der Bunsenbrennerflamme absorbiert zu werden und diese anzuregen. Wenn sie in den Grundzustand zurückfallen, werden gelbe Photonen in alle Richtungen ausgesandt, den Beobachtungsschirm trifft nur ein sehr kleiner Anteil, es entsteht dort ein Schatten. Nahezu alle Photonen des Glühlampenlichts (bis auf ein paar gelbe) können das Natrium des Kochsalzes nicht anregen und passieren die Bunsenbrennerflamme daher ungehindert, kein Schatten entsteht.
(3) Die Absorptionslinien im Sonnenspektrum liegen an den Stellen der farbigen Emissionslinien des Wasserstoff- und Heliumspektrums. Das lässt sich durch die Annahme erklären, dass das weiße Sonnenlicht in den äußeren Schichten der Sonne auf Wasserstoff- und Heliumgas trifft. Diese Gase absorbieren jeweils ganz spezifische Farben, die für das jeweilige Element charakteristisch sind.

Ph 9 Teilchenmodell, Aggregatzustände 7

- Alle Stoffe bestehen aus **Teilchen, zwischen denen Kräfte wirken.**
- **Aggregatzustände** im Teilchenmodell:

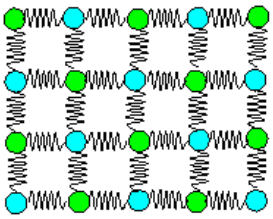
fest	flüssig	gasförmig
Teilchen liegen eng beieinander, schwingen um feste Plätze in einem Gitter	Teilchen liegen eng beieinander, sind aber leicht gegeneinander verschiebbar, unregelmäßige Bewegungen	Teilchen sind weit voneinander entfernt, bewegen sich frei und regellos im Raum
starke Kräfte	weniger starker Zusammenhalt	fast kein Zusammenhalt
bestimmte Form	passen sich dem Gefäß an, haben waagrechte Oberflächen	füllen den gesamten zur Verfügung stehenden Raum komplett aus
bestimmtes Volumen	bestimmtes Volumen	veränderliches Volumen
inkompressibel	inkompressibel	kompressibel



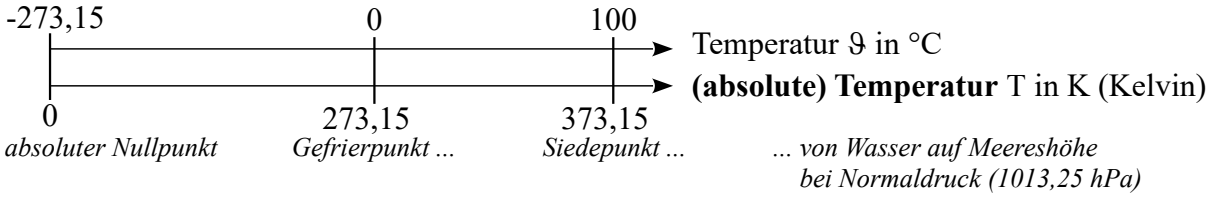
Ph 9 Temperatur 8

- **Kugel-Feder-Modell eines Festkörpers:** Die Teilchen besitzen
  - kinetische Energie (maximal beim Durchschwingen der Gleichgewichtslage) und
  - potentielle Energie (maximal in den Umkehrpunkten)

  Die Summe aus potentieller und kinetischer Energie der Teilchen ist die **innere Energie** eines Körpers,



- **brownsche Molekularbewegung:**
  Die Teilchen der Stoffe befinden sich in ständiger, unregelmäßiger Bewegung.
- Die **mittlere kinetische Energie der Teilchen** eines Körpers entspricht seiner **Temperatur.**



- **tiefstmögliche Temperatur = keine Teilchenbewegung = absoluter Nullpunkt**
- Beim Berechnen einer Temperaturdifferenz ergibt sich der gleiche Zahlenwert unabhängig davon, ob man mit Celsius- oder Kelvin-Werten rechnet: $\Delta\vartheta$ **in °C** $= \Delta T$ **in K**
- **Bei Erwärmung dehnen sich Stoffe in der Regel aus** (Ausnahme: Anomalie des Wassers)

Ph 9 Teilchenmodell, Aggregatzustände – Aufgaben 7

(1) Erkläre folgende Vorgänge mit Hilfe des Teilchenmodells:

(a) An heißen Tagen bilden sich auf einer gekühlten Limonadenflasche Wassertropfen.

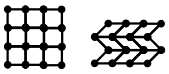
(b) Wenn man bei Frost gegen eine Fensterscheibe haucht, bilden sich Eisblumen (vgl. Foto rechts).

(c) Mottenkugeln bestehen aus Naphthalin und haben einen eigenartigen Geruch, obwohl es sich um einen weißen Feststoff handelt.

(2) Teilchen in Flüssigkeiten führen unregelmäßige Bewegungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aus. Den schnellsten Teilchen gelingt es mit ihrer kinetischen Energie, trotz der Anziehungskraft zwischen den Teilchen die Flüssigkeit zu verlassen. Nenne den Vorgang, der hier im Teilchenmodell beschrieben ist.

(3) Der Besserwisser sagt: „Festkörper sind doch gar nicht inkompressibel wie Flüssigkeiten, die man nicht zusammendrücken kann: Tafelschwamm, (Moos-)Gummi oder Holz lassen sich schon allein durch Muskelkraft zusammendrücken!“ – Erkläre den scheinbaren Widerspruch!

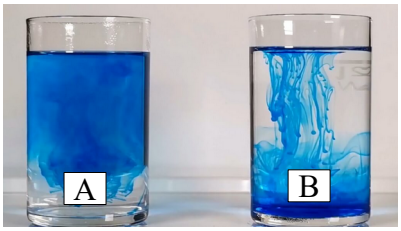
(1) (a) Luft enthält immer (gasförmigen) Wasserdampf. Kommt dieser mit der kalten Flasche in Kontakt, so wird ihm durch die Flasche Wärme entzogen und er kondensiert als Wassertropfen. Die Kondensationswärme erwärmt dabei die Flasche und den Flascheninhalt.
(b) Die Atemluft enthält Wasserdampf, der an der kalten Scheibe sofort zu festen Eiskristallen resublimiert.
(c) Naphthalin sublimiert bei Raumtemperatur sehr langsam: Das direkt aus dem Feststoff entstehende gasförmige Naphthalin breitet sich dann im gesamten Volumen des Kleiderschranks aus und schützt so vor Mottenbefall.
(2) Der beschriebene Vorgang ist **Verdunstung:** Dabei geht eine Flüssigkeit unterhalb der Siedetemperatur in den gasförmigen Zustand über.
(3) Elastische oder verformbare Festkörper enthalten oft einen Luftanteil, wie der Tafelschwamm: Beim Zusammendrücken wird die Luft aus den Zwischenräumen herausgedrückt oder sogar in Zwischenräumen zusammengedrückt. Dabei kann sich auch die (Gitter-)Struktur des Festkörpers ändern, was eine Verformung möglich macht:



Ph 9 Temperatur – Aufgaben 8

(1) Erläutere anschaulich mit dem Teilchenmodell, warum sich Parfümduft selbst in einem geschlossenen Raum ohne Luftzug ausbreitet.

(2) In zwei Bechergläser A und B mit gleich viel Wasser wird jeweils zum gleichen Zeitpunkt die gleiche Menge Tinte geträufelt. Nach kurzer Zeit ergibt sich das nebenstehende Bild. Erkläre das Ergebnis, indem du auf die Temperatur und die kinetische Energie der Teilchen eingehst.



(3) Rechne um:
(a) Körpertemperatur 37°C in K (b) Siedetemperatur von Stickstoff 77,15 K in °C

(4) Berechne die Temperaturdifferenz in K zwischen 42°C und 17°C.

(5) Erkläre, warum man Wasserflaschen nicht in ein Eisfach legen sollte.

(6) Erkläre sog. „Blow-Ups“ von Fahrbahnen bei Hitze (vgl. Bild rechts).

(1) Einzelne Teilchen des Parfüms sind so fein zerstäubt, dass sie sich wie ein Gas verhalten: Infolge der brownschen Molekularbewegung der Luftmoleküle verteilen sich auch die Parfümteilchen (die ebenfalls der brownschen Bewegung unterliegen) im gesamten zur Verfügung stehenden Raumbereich.
(2) Die Tintenteilchen werden im Becherglas verteilt, indem sie von Wasserteilchen angestoßen werden. Da die Temperatur im Becherglas A höher ist als im Becherglas B, besitzen die Teilchen in Glas A also eine höhere mittlere kinetische Energie als diejenigen in Glas B, sie bewegen sich also schneller und stoßen häufiger und mit größerer Energie gegen die Tintenteilchen. Daher hat sich nach der gleichen Zeit die Tinte in Glas A mehr verteilt als in Glas B.
(3) (a) $37\,°\mathrm{C} = (37 + 273{,}15)\,\mathrm{K} = 310{,}15\,\mathrm{K}$ (b) $77{,}15\,\mathrm{K} = (77{,}15 - 273{,}15)\,°\mathrm{C} = -196\,°\mathrm{C}$
(4) $\Delta T = (42 + 273{,}15)\,\mathrm{K} - (17 + 273{,}15)\,\mathrm{K} = (42 + 273{,}15 - 17 - 273{,}15)\,\mathrm{K} = (42 - 17)\,\mathrm{K} = 25\,\mathrm{K}$ [$\Delta\vartheta = (42 - 17)\,°\mathrm{C} = 25\,°\mathrm{C}$]
(5) Da Wasser bei 4°C die größte Dichte (und damit das kleinste Volumen) besitzt, dehnt sich Wasser aus, wenn es zu Eis wird. Die Volumenzunahme ist dabei so beträchtlich, dass die Wasserflasche gesprengt wird.
(6) Die Betonplatten der Fahrbahn dehnen sich bei hohen Temperaturen auch in der Länge aus, die Fahrbahn wölbt sich deshalb nach oben und schließlich brechen die Platten ab.

Ph 9 Wärmetransport 9

- Wärme kann übertragen werden durch:
  - **Wärmeleitung:** Bei Kontakt übertragen sich die Teilchenschwingungen eines (wärmeren) Körpers auf die Teilchen eines zweiten (kälteren) Körpers
  - **Konvektion:** Teilchen hoher mittlerer kinetischer Energie verteilen sich über den Raum
  - **Wärmestrahlung:** einziger Übertragungsweg von Wärme im Vakuum
- Energie, um einen Körper der Masse m um die Temperatur ΔT zu erwärmen:

  $\boxed{\Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T}$ ***c*: spezifische Wärmekapazität** mit $[c] = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg \cdot K}}$
- **Beim Schmelzen ändert sich die Temperatur nicht,** die zugeführte Energie wird zum Lösen der Teilchenbindungen verwendet:

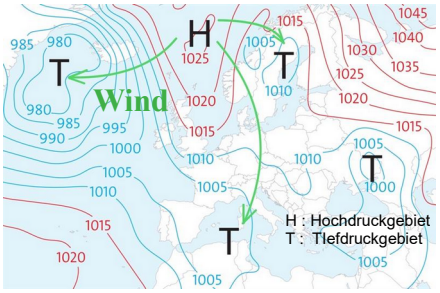
  $\boxed{\Delta E = s \cdot m}$ ***s*: spezifische Schmelzwärme** mit $[s] = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$
- **Beim Verdampfen ändert sich die Temperatur nicht,** die zugeführte Energie wird zum Lösen der Teilchenbindungen verwendet:

  $\boxed{\Delta E = r \cdot m}$ ***r*: spezifische Verdampfungswärme** mit $[r] = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$
- **Beim Erstarren wird Schmelzwärme frei, die Temperatur ändert sich nicht.**
- **Beim Kondensieren wird Verdampfungswärme frei, die Temperatur ändert sich nicht.**

Ph 9 Druck 10

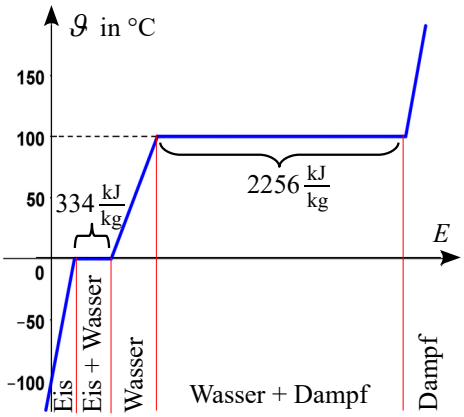
- Gasteilchen in einem Behälter stoßen ständig untereinander und mit der Behälterwand: Dabei üben sie auf eine Fläche A eine zur Fläche senkrechte Kraft F aus.
- Definition der **physikalischen Größe Druck** (**p**ressure): $\boxed{p = \frac{F}{A}}$

  Einheit: $[p] = 1\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = 1\,\mathrm{Pa}$ (Pascal) Messgerät: Manometer (Luftdruck: Barometer)
- Alte Einheit: 1 bar = 1000 hPa (Hektopascal) [durchschnittlicher Luftdruck auf Meereshöhe]
- Strömungen in Gasen (z. B. Wind) oder Flüssigkeiten brauchen einen Antrieb wie Druck- oder Höhenunterschied
- Für (ideale) Gase gilt ...
  - … bei **konstantem Volumen:** $\boxed{T \sim p}$
  - … bei **konstanter Temperatur:** $\boxed{V \sim \frac{1}{p}}$
  - … bei **konstantem Druck:** $\boxed{T \sim V}$



- Die drei **Zustandsgrößen Druck, Temperatur und Volumen** genügen, um das physikalische Verhalten eines Gases zu beschreiben.

(1) Erkläre mit Hilfe des nebenstehenden Diagramms, warum der Kontakt mit Wasserdampf in der Regel sehr viel gefährlicher ist als mit heißem Wasser.



(2) Berechne die Energiemenge, die nötig ist, um 500 g Eis von –10°C auf 0°C zu erwärmen. $\left(c_{Eis} = 2{,}1\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)$

(3) Ermittle die Energie, die nötig ist, um 500 g Eis von 0°C in 500 g Wasser von 0°C zu verwandeln (= 500 g Eis zu schmelzen). Entnimm s aus dem Diagramm rechts.

(4) Bestimme, wie viel Wasser man mit der Energie, die bei der Kondensation von 1 kg Wasserdampf frei wird, vom Gefrierpunkt auf den Siedepunkt erhitzen könnte $\left(c_{Wasser} = 4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)$.

(5) Droht im Frühjahr Nachtfrost, so werden in Obstplantagen die frischen Triebe und Blüten mit Wasser bespritzt, um sie vor dem Erfrieren zu schützen. Erkläre diese Schutzmaßnahme.

(1) Die Haut wird z. B. durch den Kontakt mit 100°C heißem Wasser verbrüht. Wenn 100°C heißer Wasserdampf Kontakt zur Haut bekommt, kondensiert er: Dabei wird aufgrund der großen Verdampfungswärme von $2256\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ sehr viel zusätzliche Energie frei, die die Haut noch mehr schädigt, bevor sie durch das durch die Kondensation entstandene 100°C heiße Wasser verbrüht wird.

(2) $\Delta E = c\cdot m\cdot\Delta T = 2{,}1\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 0{,}5\,\text{kg}\cdot 10\,\text{K} = 10{,}5\,\text{kJ}$

(3) $\Delta E = s\cdot m = 334\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\cdot 0{,}5\,\text{kg} = 167\,\text{kJ}$

(4) $\Delta E = c\cdot m\cdot\Delta T \quad\Leftrightarrow\quad m = \Delta E : (c\cdot\Delta T) = 2256\,\text{kJ} : \left(4{,}19\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\cdot 100\,\text{K}\right) = 5{,}384\ldots\,\text{kg} \approx 5{,}4\,\text{kg}$

(5) Das Wasser gefriert auf den Trieben und Blüten: Dabei wird eine Energiemenge frei, die der Schmelzwärme entspricht. Diese Energie wird von den frischen Trieben und Blüten aufgenommen und schützt diese so vor dem Erfrieren.

(1) Rechne um:
(a) 1013 hPa in bar
(b) 211,3 mbar in hPa
(c) 307,5 kPa in hPa
(d) $200\cdot 10^9$ bar in hPa

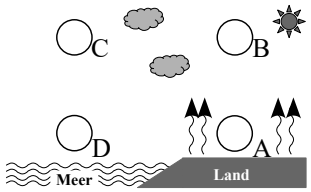
Umrechnungen	
1 bar	1000 hPa
1 mbar	1 hPa
1 hPa	100 Pa

(2) Ein Manometer misst einen Druck von $1\,\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$. Gib diesen Druck in Pa und bar an.

(3) Erläutere mithilfe der Gleichung für den Druck, dass schwere Traktoren und Transporter große und breite Reifen haben müssen.

(4) Formuliere zwei geeignete „Je-desto-Aussagen“, die die Änderung des Drucks p eines Gases beschreiben, wenn man sein Volumen V bei konstanter Temperatur T ändert und nenne je ein Anwendungsbeispiel.

(5) Trage Hoch- und Tiefdruckgebiete (H und T) in die Kreise der Abbildung rechts ein und beschreibe die resultierenden Winde.



(1) (a) $1013\,\text{hPa} = (1013 : 1000)\,\text{bar} = 1{,}013\,\text{bar}$,
(b) $211{,}3\,\text{mbar} = 211{,}3\cdot 10^{-3}\,\text{bar} = (211{,}3\cdot 10^{-3}\cdot 1000)\,\text{hPa} = 211{,}3\,\text{hPa}$
(c) $307{,}5\,\text{kPa} = 307{,}5\cdot 10^3\,\text{Pa} = 3075\cdot 10^2\,\text{Pa} = 3075\,\text{hPa}$
(d) $200\cdot 10^9\,\text{bar} = (200\cdot 10^9\cdot 1000)\,\text{hPa} = 200\cdot 10^{12}\,\text{hPa}$

(2) $p = \frac{F}{A} = 1\,\frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1\,\frac{\text{N}}{10^{-4}\,\text{m}^2} = 10^4\,\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1\cdot 10^4\,\text{Pa} = 10\,\text{kPa} = 100\,\text{hPa} = 100\,\text{mbar} = 0{,}1\,\text{bar}$

(3) Schwere Fahrzeuge besitzen eine größere Gewichtskraft, was den Druck auf den Boden erhöhen würde, wenn die Fläche gleich bliebe, mit der die Reifen auf der Erdoberfläche aufliegen. Das würde den Straßenbelag beschädigen bzw. den Ackerboden stark verfestigen. Deshalb vergrößert und verbreitert man die Reifen, vergrößert damit die Auflagefläche und vermindert den Druck auf den Boden.

(4) Je kleiner das Volumen eines Gases bei konstanter Temperatur, desto größer ist der Druck (z. B. Luftpumpe).
Je größer das Volumen eines Gases, desto kleiner ist der Druck (z. B. Saugnäpfe).

(5) Das Land und damit die Luft über dem Land erwärmt sich tagsüber stärker als die Luft über dem Meer. Deshalb steigt die Luft über dem Land auf, der Luftdruck nimmt bei A ab (T) und bei B zu (H). Von B zu C kühlt sich die Luft über dem Meer ab und sinkt bei C nach unten (deshalb T bei C). Bei D herrscht wieder hoher Luftdruck (H). Es entsteht ein Seewind von D zu A, die Luftmassen bewegen sich insgesamt gegen den Uhrzeigersinn, Wind weht von A nach B nach C nach D und wieder nach A.