

1. Von einem horizontalen Förderband in der Höhe  $h = 4,0$  m über dem Boden soll Sand auf eine Lagerfläche in der seitlichen Entfernung  $d = 2,1$  m abgeworfen werden.
- Welche Laufgeschwindigkeit  $v$  muss das Band mindestens haben, damit der Sand die Lagerfläche erreicht?
  - Mit welcher Kraft  $F$  muss das Band bei dieser Geschwindigkeit angetrieben werden, wenn aus einer Öffnung pro Sekunde 5 kg Sand auf das Band rieseln?
  - Welche Art von Flugbahn beschreibt der Sand in der Luft?
  - Mit welcher kinetischen Energie je Kilogramm trifft der Sand auf den Boden?

2. Ein stehender, oben offener Glaszylinder der Länge  $l = 1$  m lässt sich auf beliebige Höhe  $h < l$  mit Wasser füllen. Eine Stimmgabel der Frequenz  $f = 660$  Hz werde über das offene Ende gehalten.
- Wie groß ist die Wellenlänge der von der Stimmgabel erzeugten Schallwelle?
  - Bei welchen Füllhöhen tritt Resonanz auf? Zeichnen Sie zunächst maßstabsgetreu die Knoten und Bäuche der Schwingungsamplitude für diese Fälle.

Zahlenwert: Schallgeschwindigkeit in Luft:  $c_{\text{Luft}} = 330$  m/s.

3. Mittels eines Zerstäubers wird Wasser in feine Tröpfchen des Durchmessers  $d = 10$   $\mu\text{m}$  zerstäubt.
- Wie ist die Oberflächenspannung  $\sigma$  definiert? Geben Sie die entsprechende Formel an und benennen Sie die einzelnen Größen.
  - Welche Energie  $E$  ist erforderlich, um 1 Liter ( $=10^3$   $\text{cm}^3$ ) Wasser in solche Tröpfchen zu zerstäuben?
  - Auf welche Höhe  $h$  könnte man den Liter Wasser mit dieser Energie von der Erdoberfläche aus anheben?
  - Um welche Temperaturdifferenz könnte man den Liter Wasser mit dieser Energie erwärmen?

Zahlenwerte: Oberflächenspannung:  $\sigma_{\text{Wasser}} = 0,0741$  N/m; spezifische Wärme:  $c = 4,2$  kJ/(kg·K).

4. 500 g Wasser mit einer Temperatur von  $16^\circ\text{C}$  werden in einem thermisch isolierten Gefäß mit einem Tauchsieder der Leistung  $P = 600$  W erwärmt. Die Wärmekapazität des Gefäßes sei vernachlässigbar.
- Nach welcher Zeit ist die Siedetemperatur erreicht?
  - Der Tauchsieder wird nicht wieder abgeschaltet. Nach welcher Zeit ist das Wasser verdampft?

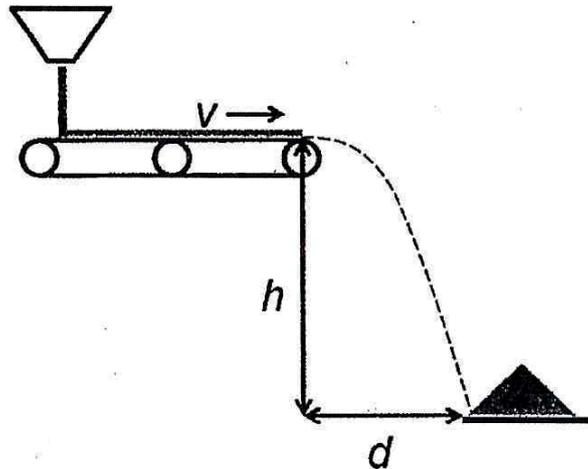
Zahlenwerte: Siedetemperatur von Wasser:  $100^\circ\text{C}$ , spezifische Wärme:  $c = 4,2$  kJ/(kg·K), Verdampfungsenergie:  $\Delta Q_v = 2,26$  MJ/kg.

5. Drei Mol Stickstoff (ideales, zweiatomiges Gas der Molmasse 28 g/mol) werden unter verschiedenen Randbedingungen von  $T_1 = 300$  K auf  $T_2 = 500$  K erwärmt.
- Berechnen Sie die Zunahme der inneren Energie  $\Delta U$ , die verrichtete Arbeit  $\Delta W$  und die zugeführte Wärmemenge  $\Delta Q$ , wenn das Volumen konstant gehalten wird.
  - Berechnen Sie dieselben Größen, wenn die Erwärmung bei konstantem Druck stattfindet.
  - Wie groß ist die quadratisch gemittelte Geschwindigkeit  $v_{\text{rms}}$  der Gasmoleküle bei der Temperatur  $T_1$ ?

6. Eine Ladung  $Q$  sitzt im Mittelpunkt eines gedachten Würfels der Kantenlänge  $a$ .
- Wie groß ist der Betrag der elektrischen Feldstärke an den Ecken des Würfels?
  - Welche elektrische Spannung liegt zwischen benachbarten Ecken des Würfels?
  - Welche elektrische Spannung liegt zwischen den Mittelpunkten benachbarter Seitenflächen?
  - Welche elektrische Spannung liegt zwischen einer Ecke und einem benachbarten Seitenmittelpunkt des Würfels?
  - Welche potentielle Energie hat die Anordnung, wenn nun an einer Ecke des Würfels eine zweite, identische Ladung  $Q$  angebracht wird?



## Aufgabe 1: Waagerechter Wurf



- a) Man betrachte die Bewegung parallel zum Boden und senkrecht dazu unabhängig voneinander.  $t$  sei die Zeit, die der Sand für den Fall aus  $h = 4$  m Höhe benötigt.

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

In dieser Zeit muss der Sand mindestens die horizontale Distanz  $d = 2,1$  m zum Lagerplatz zurückgelegt haben. Für die Bandgeschwindigkeit ergibt sich:

$$d = vt \Rightarrow v = \frac{d}{t} = d\sqrt{\frac{g}{2h}} \approx 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- b) Es müssen pro Sekunde 5 kg Sand auf die Bandgeschwindigkeit  $v$  beschleunigt werden.  $F = ma$ . Einsetzen von  $m = 5$  kg,  $a = v/1$ s ergibt  $F \approx 11,6$  N.  
c) Die Flugbahn ist eine Parabel.  
d) Der Sand trifft schräg auf die Oberfläche. Der Geschwindigkeitsvektor setzt sich aus der Fallgeschwindigkeit aus 4 m Höhe und der senkrecht dazu stehenden Bandgeschwindigkeit zusammen.

$$v_{\text{ges}} = \sqrt{v_{\text{Fall}}^2 + v_{\text{Band}}^2}, \text{ mit } v_{\text{Fall}} = \sqrt{2gh} \approx 8,86 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow v_{\text{ges}} \approx 9,16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv_{\text{ges}}^2 \Rightarrow 1 \text{ kg Sand trifft mit einer kinetischen Energie von } 42,0 \text{ J auf den Boden.}$$

## Aufgabe 2: Schwingungen und Wellen

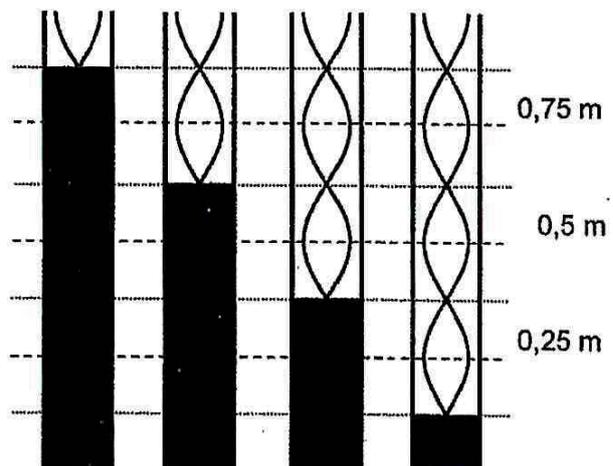
a)  $c = \lambda v \Rightarrow \lambda = \frac{c}{v} = 0,5 \text{ m}$

- b) Am offenen Ende des halboffenen Glasrohrs ist ein Bewegungsbauch; am geschlossenen Ende ein Bewegungsknoten. Hinsichtlich der Druckschwankungen verhält es sich genau umgekehrt: maximale Amplitude am geschlossenen Ende.

$$\ell - h = \frac{\lambda}{4} + n\frac{\lambda}{2} = (2n+1)\frac{\lambda}{4}; n = 1, 2, 3, \dots$$

$$h = \ell - (2n+1)\frac{\lambda}{4}$$

$$h = 0,875 \text{ m}; 0,625 \text{ m}; 0,375 \text{ m}; 0,125 \text{ m}.$$



## Aufgabe 3: Oberflächenspannung

a) Definition:  $\sigma = \frac{dW}{dA}$

$$\sigma : \text{Oberflächenspannung, } \left[ \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right] = \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$$

$dW$  : verrichtete Arbeit, [J]

$dA$  : gewonnene Oberfläche, [m<sup>2</sup>]

b) Ein Wassertröpfchen mit  $d = 10 \mu\text{m}$  hat ein Volumen von

$$V_{\text{Tröpfchen}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \approx 5,24 \cdot 10^{-16} \text{ m}^3 \text{ und eine Oberfläche von}$$

$$A_{\text{Tröpfchen}} = 4\pi r^2 \approx 3,14 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2.$$

Aus einem Liter Wasser lassen sich  $n = \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{V_{\text{Tröpfchen}}} \approx 1,91 \cdot 10^{12}$  solcher Tröpfchen erzeugen, die eine

Oberfläche von  $A_{\text{ges}} = n A_{\text{Tröpfchen}} \approx 600 \text{ m}^2$  besitzen.

Um diese Oberfläche zu erzeugen, benötigt man eine Energie von

$$W = \sigma_{\text{Wasser}} A_{\text{ges}} = 0,074 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \cdot 600 \text{ m}^2 = 44,5 \text{ J}.$$

c) Mit dieser Energie könnte man einen Liter Wasser (1 kg) auf eine Höhe von:

$$h = \frac{W}{mg} \approx 4,5 \text{ m anheben.}$$

d) Mit dieser Energie könnte man einen Liter Wasser (1 kg) um eine Temperaturdifferenz von:

$$\Delta T = \frac{W}{c_{\text{Wasser}} m} \approx 0,01 \text{ }^\circ\text{C erwärmen.}$$

## Aufgabe 4:

### Temperatur und Wärmeenergie: Tauchsieder

$$\text{a) } t_1 = \frac{\Delta Q}{P} = \frac{c \Delta T}{P} = \frac{m c_{\text{Wasser}} (T_{\text{Siede}} - T_0)}{P} = 294 \text{ s} \approx 5 \text{ min}$$

$$\text{b) } t_2 = t_1 + \frac{\Delta Q_{\text{verd}}}{P} = t_1 + \frac{m c_{\text{verd}}}{P} = 294 \text{ s} + 1883 \text{ s} = 2177 \text{ s} \approx 36 \text{ min}$$

## Aufgabe 5: Ideales Gas

a) isochor:  $V = \text{const.}$

$$\Rightarrow \Delta W = 0$$

$$1. \text{ HS: } \Delta U = \Delta W + \Delta Q \Rightarrow \Delta Q = \Delta U$$

$$\Delta Q = \Delta U = n c_v \Delta T = n \cdot \frac{f}{2} R \cdot \Delta T = n \cdot \frac{5}{2} R \cdot \Delta T = 12,5 \text{ kJ}$$

b) isobar:  $p = \text{const.}$

$$\Delta U = n c_v \Delta T = 12,5 \text{ kJ (s.o.)}$$

$$\Delta Q = n c_p \Delta T = n \cdot (c_v + R) \cdot \Delta T = n \cdot \left( \frac{f}{2} + 1 \right) R \cdot \Delta T = n \cdot \frac{7}{2} R \cdot \Delta T = 17,5 \text{ kJ}$$

$$1. \text{ HS: } \Delta W = \Delta U - \Delta Q = -n R \Delta T = -5,0 \text{ kJ (mech. Arbeit wird vom System verrichtet)}$$

## ExPhys - F 2011

c)

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$$
$$m = \frac{m_{\text{molar, Stickstoff}}}{N_A}$$
$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3k_B T N_A}{m_{\text{molar, Stickstoff}}}} = \sqrt{\frac{3RT}{m_{\text{molar, Stickstoff}}}}$$
$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,3 \text{ J/(molK)} \cdot 300 \text{ K}}{28 \text{ g/mol}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,3 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2} / (\text{molK}) \cdot 300 \text{ K}}{0,028 \text{ kg/mol}}} = 517 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## Aufgabe 6: Elektrostatik

a) Betrag der Feldstärke in einer Würfecke:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{\left(\frac{a}{2}\sqrt{3}\right)^2}$$

b) Alle Würfecken sind vom Würfelmittelpunkt, also der Ladung Q, gleichweit entfernt, liegen also auf einer Äquipotentialfläche.

Die Spannung zwischen beliebigen Eckpunkten ist Null.

c) Analog gilt dies für die Mittelpunkte der Seitenflächen.

Die Spannung zwischen beliebigen Seitenmittelpunkten ist Null.

d) Das Potential der Punktladung Q im Abstand r:

$$\Phi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q}{r}$$

Der Abstand der Ecken bzw. der Seitenmittelpunkte von Q:

$$r_{\text{Eck}} = \frac{a}{2}\sqrt{3} \quad \text{bzw.} \quad r_{\text{Seite}} = \frac{a}{2}$$

$$U = \Phi(r_{\text{Seite}}) - \Phi(r_{\text{Eck}}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \left( \frac{2}{a} - \frac{2}{a\sqrt{3}} \right)$$

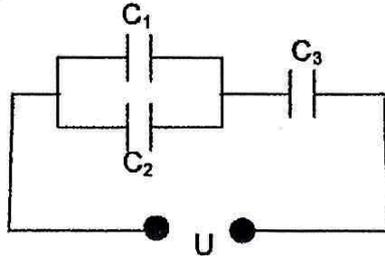
$$U = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r a} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \right)$$

e) Potentielle Energie:

$$E_{\text{Pot}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r}, \quad \text{mit } r = \frac{a}{2}\sqrt{3}$$

## Aufgabe 7: Kondensator

a)



$$b) \quad \frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{1\mu\text{F} + 0,25\mu\text{F}} + \frac{1}{0,3\mu\text{F}} = 4,13 \frac{1}{\mu\text{F}} \Rightarrow C_{\text{ges}} = 0,24\mu\text{F}$$

oder

$$C_{\text{ges}} = \frac{C_1 C_3 + C_2 C_3}{C_1 + C_2 + C_3} = 0,24\mu\text{F}$$

c)

$$Q_{\text{ges}} = Q_{12} = Q_3 = C_{\text{ges}} U = \frac{1}{\frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3}} U = 2,42 \mu\text{C}$$

$$Q_1 = C_1 U_1 = C_1 \frac{Q_3}{C_1 + C_2} = 1,94 \mu\text{C}$$

$$Q_2 = C_2 U_2 = C_2 \frac{Q_3}{C_1 + C_2} = 0,48 \mu\text{C}$$

## Aufgabe 8: Elektronen im Plattenkondensator

a) Superpositionsprinzip für Bewegung in x- und y-Richtung:

$$v_y = a_y \Delta t$$

$$v_x = \frac{\ell}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\ell}{v_x}$$

$$\text{Newton: } m_e a_y = eE \Rightarrow a_y = \frac{eE}{m_e}$$

$$\Rightarrow \tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{a_y \Delta t}{v_x} = \frac{\frac{eE}{m_e} \frac{\ell}{v_x}}{v_x} = \frac{eE\ell}{m_e v_x^2} \Rightarrow \alpha = \arctan \frac{eE\ell}{m_e v_x^2}$$

$$\text{Einsetzen: } \alpha = \arctan 2,08 = 64,3^\circ$$

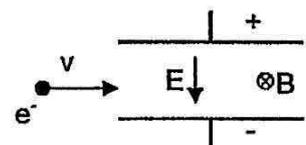
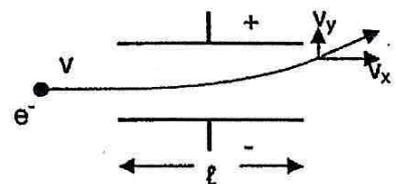
b) Kräftegleichgewicht:  $-e\vec{E} = -e(\vec{v} \times \vec{B})$

$$\vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow E = vB \Rightarrow \vec{B} = \frac{E}{v}$$

$$\text{Einsetzen: } B = 1,54 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

c) Kräftegleichgewicht:  $|F_L| = F_z \Rightarrow evB = m_e r \omega^2 = m_e \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m_e v}{eB} = \frac{m_e v^2}{eE}$

$$\text{Einsetzen: } r = 0,48 \text{ cm}$$



$$\vec{v} \perp \vec{E} \perp \vec{B}$$

## Aufgabe 9: Laserpointer

a)  $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{532 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5,64 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

b)  $E_{\text{Photon}} = h \frac{c}{\lambda} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{532 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,72 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

c)  $P = 1 \text{ mW} = \frac{n E_{\text{Photon}}}{1 \text{ s}}$

$$\frac{n}{1 \text{ s}} = \frac{P}{E_{\text{Photon}}} = 2,69 \cdot 10^{15} \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

d) LASER – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

“Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung”

## Aufgabe 10: Welle-Teilchen-Dualismus

a) Unter dem Welle-Teilchen-Dualismus versteht man die Eigenschaft, dass kleine Objekte wie etwa Photonen oder Elektronen je nach durchgeführtem Experiment sowohl Wellen- als auch Teilchen-Eigenschaften zeigen.

b) Lichtbrechung  
Beugung  
Interferenz, beispielsweise im Doppelspaltexperiment.

c) Photoeffekt, Paarbildung,  
Compton-Effekt.

d)  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2 = eU = 100 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 100 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-17} \text{ J}$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = 5,93 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

e) de Broglie-Wellenlänge

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$