

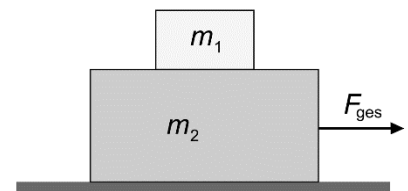
1. Gravitation und Keplersche Gesetze

- Wie lauten die drei Keplerschen Gesetze?
- Berechnen Sie die Gravitationsfeldstärke i) auf der Erdoberfläche und ii) auf der Mondoberfläche.
- Berechnen Sie die Entfernung R_M des Mondes von der Erde. Bekannt seien dafür die Erdbeschleunigung g an der Erdoberfläche, der Erdradius r_E sowie die Umlaufzeit T_M des Mondes um die Erde.
- Berechnen Sie, wie groß die Anfangsgeschwindigkeit v_R einer Rakete an der Erdoberfläche mindestens sein müsste, um das Schwerfeld der Erde ohne weiteren Antrieb verlassen zu können („Fluchtgeschwindigkeit“). Der Luftwiderstand werde vernachlässigt.

Zahlenwerte: $r_E = 6370 \text{ km}$; $r_M = 1738 \text{ km}$; $M_E = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $M_M = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$; $T_M = 27,3 \text{ Tage}$.

2. Ein Block mit einer Masse m_2 ruhe auf einer reibungsfreien horizontalen Fläche. Auf ihm liege ein zweiter Block der Masse m_1 . Zwischen den Blöcken sei die Haftreibungszahl μ_H und die Gleitreibungszahl μ_G . Nun greift an dem unteren Block eine horizontale Kraft F_{ges} an (siehe Skizze).

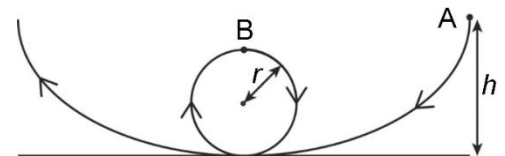
- Mit welcher Beschleunigung a_{max} kann der untere Block maximal beschleunigt werden, ohne dass der obere Block auf dem unteren zu gleiten beginnt?
- Wie groß ist im Fall a) die gesamte Zugkraft F_{ges} ?
- Die Kraft F_{ges} sei nun halb so groß wie der in b) ermittelte Wert. Berechnen Sie damit die Beschleunigung jedes der beiden Blöcke.
- Die Kraft F_{ges} sei jetzt doppelt so groß wie der in b) ermittelte Wert. Berechnen Sie damit die Beschleunigung jedes der beiden Blöcke.



Zahlenwerte: $\mu_H = 0,30$; $\mu_G = 0,20$; $m_1 = 4,0 \text{ kg}$; $m_2 = 8,0 \text{ kg}$.

3. Ein Wagen der Masse m fährt reibungsfrei durch den skizzierten Looping (Radius r). Der Wagen darf als Punktmasse angenommen werden und die Rotationsenergie der Räder sei vernachlässigbar.

- Wie groß muss die Geschwindigkeit im Punkt B mindestens sein, damit der Wagen die Bahn nicht verlässt?
- Wie groß muss für den Grenzfall aus a) die Ausgangshöhe h des Punktes A sein, wenn der Wagen an Punkt A mit der Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0 \text{ m/s}$ startet?
- Wie groß ist für den Grenzfall aus a) die kinetische Energie des Wagens in B?



Zahlenwerte: $m = 2,0 \text{ kg}$; $r = 0,60 \text{ m}$.

4. Ein Eisblock der Masse m und der Temperatur $T_1 = -25 \text{ °C}$ wird in einem Mikrowellenherd der Leistung P vom Zeitpunkt $t_0 = 0$ an erwärmt.

- Skizzieren Sie den Temperaturverlauf als Funktion der Zeit in einem beschrifteten $T(t)$ -Diagramm im Bereich von -25 °C bis $+100 \text{ °C}$.
- Nach welcher Zeit t_1 ist der Schmelzpunkt erreicht?
Nach welcher Zeit t_2 ist das gesamte Eis geschmolzen?
- Welche Energie wird für die Erwärmung von T_1 auf $T_2 = 50 \text{ °C}$ benötigt? Die Wärmekapazität des Gefäßes werde vernachlässigt.
- Welche Energie wird benötigt, um das Wasser nach Erreichen des Siedepunktes vollständig zu verdampfen?
- Um welche Temperaturdifferenz erwärmt sich Wasser, wenn es einen 20 Meter hohen Wasserfall herunterstürzt und seine potentielle Energie dabei vollständig in Wärmeenergie umgewandelt wird?

Zahlenwerte: $m = 120 \text{ g}$; $P = 500 \text{ W}$; spezifische Wärme von Eis: $c_E = 2,1 \text{ J/(g·K)}$;
spezifische Wärme von Wasser: $c_W = 4,2 \text{ J/(g·K)}$; Schmelzwärme von Eis: $c_s = 0,33 \text{ kJ/g}$;
Verdampfungswärme von Wasser: $c_{Verdampf} = 2,26 \text{ kJ/g}$.

5. Kinetische Gastheorie

- a) Wie lautet die Zustandsgleichung eines idealen Gases i) unter Verwendung der universellen Gaskonstante R und ii) unter Verwendung der Boltzmann-Konstante k_B ? Benennen Sie jeweils alle in den Formeln auftretenden Größen.
- b) Wie lautet der Zusammenhang zwischen der universellen Gaskonstante und der Boltzmann-Konstante?
- c) Durch welche drei mikroskopischen Bedingungen zeichnet sich ein ideales Gas aus?
- d) Wie groß ist die mittlere kinetische Energie der Translation eines Gasatoms des einatomigen Gases als Funktion der Temperatur T ?

6. Stöße und Schwingungen

- a) Ein Sandsack der Masse M hängt an einem vertikalen Seil der Länge ℓ . Betrachten Sie diese Anordnung näherungsweise als mathematisches Pendel. Ein Geschoss der Masse m trifft mit der Geschwindigkeit v in horizontaler Richtung auf den Sandsack und bleibt in ihm stecken.
 - i) Mit welcher Geschwindigkeit v' bewegt sich der Sandsack aus der Ruhelage?
 - ii) Bis zu welchem Winkel schwingt der Sandsack nach der Auslenkung aus der Ruhelage aus?
 - iii) Wie groß ist der Verlust an kinetischer Energie durch den Stoß und wie lässt sich dieser Verlust an kinetischer Energie mit dem Energieerhaltungssatz vereinbaren?
 - iv) Mit welcher Frequenz schwingt der Sandsack (Näherung kleiner Auslenkungen)?
 - v) Wie groß sind Impuls und Drehimpuls beim Nulldurchgang der Schwingung?
- b) Was versteht man unter einer gedämpften Schwingung? Skizzieren Sie qualitativ die Auslenkung als Funktion der Zeit und zeichnen Sie die Einhüllende dieser Kurve ein.
- c) Wie lautet allgemein die Schwingungsgleichung für eine gedämpfte Schwingung? Benennen Sie alle darin auftretenden Größen.
- d) Wie lautet die allgemeine Lösung der Differentialgleichung aus c)? Benennen Sie auch hier alle auftretenden Größen.
- e) Was versteht man unter einer erzwungenen Schwingung? Geben Sie auch hierfür die entsprechende Differentialgleichung an und benennen Sie alle darin auftretenden Größen.
- f) Was versteht man bei erzwungenen Schwingungen unter dem Begriff „Resonanz“? Zeichnen Sie die Resonanzkurven (Amplitude als Funktion der Frequenz) für i) hohe, ii) mittlere und iii) geringe Dämpfung in einem detailliert beschrifteten Diagramm. Zeichnen Sie die Resonanzfrequenz und die Erregeramplitude ebenfalls im Diagramm ein.

Zahlenwerte: $M = 20,0 \text{ kg}$; $\ell = 5,00 \text{ m}$; $m = 10,0 \text{ g}$; $v = 500 \text{ m/s}$.

Gravitationskonstante $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
 Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 Boltzmann-Konstante $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Aufgabe	1	2	3	4	5	6
Punkte	6	6	6	6	4	12

Lösungsvorschlag zur Klausurprüfung in Experimentalphysik A

Elektrotechnik & Informationstechnik, Medizintechnik

Aufgabe 1 Gravitation und Keplersche Gesetze

a) 1. Keplersches Gesetz:

Alle Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

2. Keplersches Gesetz:

Der Radiusvektor Sonne-Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

3. Keplersches Gesetz:

Die Quadrate der Umlaufzeiten T^2 verschiedener Planeten verhalten sich wie die Kuben (dritte Potenz) der großen Bahnachsen a^3 .

$$\frac{a_{\text{Planet}}^3}{T_{\text{Planet}}^2} = \text{const.}$$

b) Gravitationsgesetz: $F_G = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$

i) Berechnung der Gravitationsfeldstärke auf der Erde (Erdbeschleunigung):

$$F_G = m \cdot g \Rightarrow g = \frac{F_G}{m} = \frac{\gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}}{m} = \gamma \cdot \frac{M_E}{r_E^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6,37 \cdot 10^6 \text{ m})^2} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

ii) Berechnung der Gravitationsfeldstärke auf dem Mond:

$$F_G = m \cdot a_{\text{Mond}} \Rightarrow a_{\text{Mond}} = \frac{F_G}{m} = \frac{\gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}}{m} = \gamma \cdot \frac{M_M}{r_M^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}}{(1,74 \cdot 10^6 \text{ m})^2} = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

c) Gravitation ist Zentralkraft: $F_G = \gamma \cdot \frac{M_E \cdot M_M}{R_M^2} = M_M \cdot R_M \cdot \omega^2 \Rightarrow \gamma \cdot M_E = R_M^3 \cdot \omega^2$

Gravitation an Erdoberfläche: $F_G = m \cdot g = \gamma \cdot \frac{m \cdot M_E}{r_E^2} \Rightarrow \gamma \cdot M_E = g \cdot r_E^2$

$$\Rightarrow R_M^3 \cdot \omega^2 = g \cdot r_E^2$$

$$\Rightarrow R_M = \left(\frac{g \cdot r_E^2}{\omega^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Mit $\omega = \frac{2\pi}{T_M}$ und $T_M = 27,3 \text{ Tage} = 27,3 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 2,36 \cdot 10^6 \text{ s}$ ergibt sich:

$$R_M = \sqrt[3]{\frac{g \cdot r_E^2 \cdot T_M^2}{4\pi^2}} = \left(\frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (6,37 \cdot 10^6 \text{ m})^2 \cdot (2,36 \cdot 10^6 \text{ s})^2}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,83 \cdot 10^8 \text{ m} = 383000 \text{ km}$$

d) Die Bedingung für die Fluchtgeschwindigkeit v_F lautet: $|E_{\text{kin}}| = |E_{\text{pot}}|$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_F^2 = \gamma \cdot \frac{M_E \cdot m}{r_E} \quad \text{aus c): } \gamma \cdot M_E = g \cdot r_E^2$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_F^2 = \frac{g \cdot r_E^2 \cdot m}{r_E}$$

$$\Rightarrow v_F = \sqrt{2 \cdot g \cdot r_E} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}} = 11,2 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Aufgabe 2 Reibende Klötze

a) $F_{a,1} = F_{R,1} \Rightarrow m_1 \cdot a_{\max} = \mu_H \cdot m_1 \cdot g \Rightarrow a_{\max} = \mu_H \cdot g = 0,30 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,94 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

b) $F_{\text{ges, max}} = (m_1 + m_2) \cdot a_{\max} = (m_1 + m_2) \cdot \mu_H \cdot g = (4,0 \text{ kg} + 8,0 \text{ kg}) \cdot 0,30 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 35,3 \text{ N}$

c) $a_1 = a_2 = \frac{F_{\text{ges, max}}}{2 \cdot (m_1 + m_2)} = \frac{a_{\max}}{2} = \frac{\mu_H \cdot g}{2} = \frac{0,30 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} = 1,47 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

d) Der obere Block wird mit der Gleitreibungskraft beschleunigt:

$$m_1 \cdot a_1 = F_{G,1} = \mu_G \cdot m_1 \cdot g \Rightarrow a_1 = \mu_G \cdot g = 0,20 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Die übrige Kraft wird auf den unteren Block übertragen:

$$m_2 \cdot a_2 = 2 \cdot F_{\text{ges, max}} - F_{G,1} = 2 \cdot (m_1 + m_2) \cdot \mu_H \cdot g - m_1 \cdot \mu_G \cdot g$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{2 \cdot (m_1 + m_2) \cdot \mu_H - m_1 \cdot \mu_G}{m_2} \cdot g = \frac{2 \cdot (4,0 \text{ kg} + 8,0 \text{ kg}) \cdot 0,30 - 4,0 \text{ kg} \cdot 0,20}{8,0 \text{ kg}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7,85 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Aufgabe 3 Wagen im Looping

- a) Zentrifugalkraft \geq Gravitationskraft

$$\frac{m \cdot v_B^2}{r} \geq m \cdot g \Rightarrow v_B \geq \sqrt{r \cdot g} = \sqrt{0,60 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 2,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- b) $E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}} \Rightarrow m \cdot g \cdot (h - 2 \cdot r) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2$

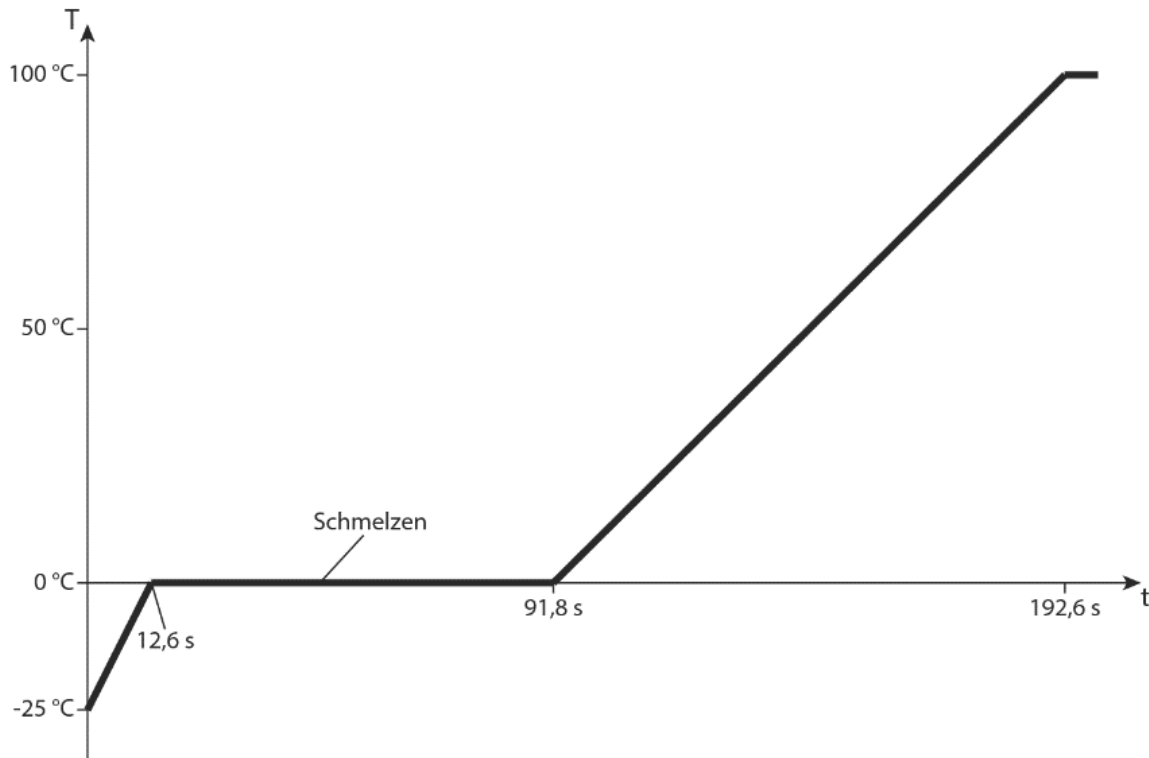
Mit $v_B^2 = r \cdot g \Rightarrow g \cdot h - 2 \cdot r \cdot g = \frac{1}{2} r \cdot g$

$$\Rightarrow h = 2,5 \cdot r = 2,5 \cdot 0,60 \text{ m} = 1,50 \text{ m}$$

- c) $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r \cdot g = \frac{1}{2} \cdot 2,0 \text{ kg} \cdot 0,60 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5,89 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

Aufgabe 4 Eisblock

a) $dQ = P \cdot dt$ Steigungen: $dT = \frac{dQ}{c} = \frac{P \cdot dt}{c \cdot m} \Rightarrow \frac{dT}{dt} \propto \frac{1}{c}$



b) $\Delta Q = P \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta Q}{P}$

i) Das Eis wird von -25 °C auf 0 °C erwärmt:

$$t_1 = \frac{\Delta Q}{P} = \frac{1}{P} \cdot c_E \cdot m \cdot \Delta T_E = \frac{1}{500\text{ W}} \cdot 2,1 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 120\text{ g} \cdot 25\text{ K} = 12,6\text{ s}$$

ii) Das Eis wird von -25 °C auf 0 °C erwärmt und geschmolzen:

$$t_2 = \frac{\Delta Q}{P} = \frac{1}{P} (c_E \cdot m \cdot \Delta T_E + m \cdot c_S) = \frac{1}{500\text{ W}} \cdot \left(2,1 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 120\text{ g} \cdot 25\text{ K} + 120\text{ g} \cdot 0,33 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \right) = 91,8\text{ s}$$

c) Das Eis muss von -25 °C auf 0 °C erwärmt werden, zudem muss die Schmelzwärme aufgebracht werden. Anschließend muss das Wasser von 0 °C auf 50 °C erwärmt werden.

$$\Delta Q = c_E \cdot m \cdot \Delta T_E + m \cdot c_S + c_W \cdot m \cdot \Delta T_W$$

$$\Delta Q = 2,1 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 120 \text{ g} \cdot 25 \text{ K} + 120 \text{ g} \cdot 0,33 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} + 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot 120 \text{ g} \cdot 50 \text{ K} = 71,1 \text{ kJ}$$

- d) Nach Erreichen des Siedepunktes muss zum Verdampfen die Verdampfungswärme aufgebracht werden:

$$\Delta Q = c_{\text{Verdampf}} \cdot m = 2,26 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \cdot 120 \text{ g} = 271,2 \text{ kJ}$$

- e) Gleichsetzen von potentieller Energie und Wärmeenergie: $\Delta Q = \Delta E_{\text{pot}}$

Mit $\Delta Q = c_W \cdot m \cdot \Delta T$ $\Delta E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

$$m \cdot g \cdot h = c_W \cdot m \cdot \Delta T$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{h \cdot g}{c_W} = \frac{20 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 0,047 \text{ K}$$

Aufgabe 5 Kinetische Gastheorie

a) Ideale Gasgleichung:

i) $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

p : Druck
 V : Volumen
 n : Stoffmenge (Mol)
 R : Universelle Gaskonstante
 T : Absolute Temperatur

ii) $p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T = n \cdot N_A \cdot k_B \cdot T$

p : Druck
 V : Volumen
 N : Teilchenzahl
 k_B : Boltzmann-Konstante
 T : Absolute Temperatur
 n : Stoffmenge (Mol)
 N_A : Avogadro-Konstante

b) $R = \frac{N}{n} \cdot k_B = N_A \cdot k_B$

- c) 1. Das Gas besteht aus einer großen Zahl von Teilchen, die untereinander und mit den Wänden nur elastische Stöße machen.
2. Großer Teilchenabstand, d. h. das Gefäßvolumen ist groß gegenüber dem Eigenvolumen aller darin enthaltenen Teilchen.
3. Zwischen den Stößen bewegen sich die Teilchen wechselwirkungsfrei.

d) Mittlere kinetische Energie: $\langle E_{\text{kin}} \rangle = \frac{f}{2} \cdot k_B \cdot T$

Die Zahl der Freiheitsgrade der Translation f_{trans} beträgt 3.

$\Rightarrow \langle E_{\text{kin,trans}} \rangle = \frac{3}{2} \cdot k_B \cdot T$

Aufgabe 6 Stöße und Schwingungen

a) i) Impulserhaltung beim vollkommen inelastischen Stoß:

$$m \cdot v = (m + M) \cdot v' \Rightarrow v' = \frac{m \cdot v}{m + M} = \frac{0,010 \text{ kg} \cdot 500 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,010 \text{ kg} + 20,0 \text{ kg}} = 0,250 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{ii) } E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,010 \text{ kg} \cdot \left(500 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1250 \text{ J}$$

$$E_{\text{kin}'} = \frac{1}{2} \cdot (m + M) \cdot v'^2 = (m + M) \cdot g \cdot h \Rightarrow h = \frac{v'^2}{2 \cdot g} = \frac{\left(0,250 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,19 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{\ell - h}{\ell} \Rightarrow \alpha = \arccos\left(\frac{\ell - h}{\ell}\right) = \arccos\left(\frac{5,00 \text{ m} - 3,19 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{5,00 \text{ m}}\right) = 2,05^\circ$$

$$\text{iii) } E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,010 \text{ kg} \cdot \left(500 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1250 \text{ J}$$

$$E_{\text{kin}'} = \frac{1}{2} \cdot (m + M) \cdot v'^2 = \frac{1}{2} \cdot (0,010 \text{ kg} + 20,0 \text{ kg}) \cdot \left(0,250 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 0,625 \text{ J}$$

Verlust an kinetischer Energie:

$$\Delta E_{\text{kin}} = E_{\text{kin}} - E_{\text{kin}'} = 1249,375 \text{ J} \Rightarrow \text{Der Verlust an kinetischer Energie beträgt } 99,95\%.$$

99,95% der kinetischen Energie des Geschosses wird in Wärme umgewandelt.

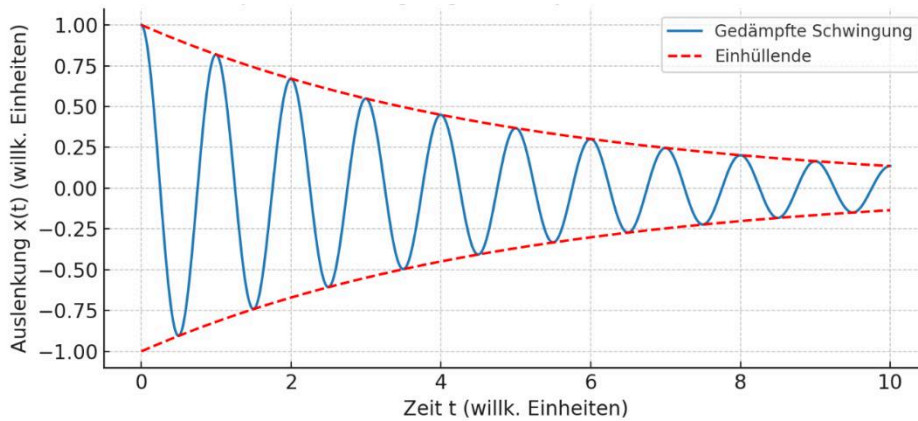
$$\text{iv) } \nu = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{\ell}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{5,00 \text{ m}}} = 0,223 \text{ Hz}$$

$$\text{v) } p = (m + M) \cdot v' = (0,010 \text{ kg} + 20,0 \text{ kg}) \cdot 0,200 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4,00 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L = |\vec{r} \times \vec{p}| = \ell \cdot p = 5,00 \text{ m} \cdot 4,00 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20,0 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

b) Eine gedämpfte Schwingung ist eine Schwingung, deren Amplitude mit der Zeit abnimmt, bis sie schließlich zum Stillstand kommt. Der Verlauf ist typischerweise eine Sinusschwingung, deren Einhüllende exponentiell abfällt.

Skizze:



c) Schwingungsgleichung für gedämpfte Schwingung (DGL):

$$m \cdot \ddot{x} + \beta \cdot \dot{x} + D \cdot x = 0$$

m : Schwingende Masse

x, \dot{x}, \ddot{x} : Auslenkung, Geschwindigkeit, Beschleunigung

β : Reibungskonstante

$\beta \cdot \dot{x}$: Reibungskraft (hier proportional zur Geschwindigkeit)

D : Federkonstante

Oder mit Dämpfungskoeffizient $\delta := \frac{\beta}{2 \cdot m}$

und der Kreisfrequenz des ungedämpften Oszillators $\omega_0 := \sqrt{\frac{D}{m}}$:

$$\ddot{x} + 2 \cdot \delta \cdot \dot{x} + \omega_0^2 \cdot x = 0$$

d) Allgemeine Lösung der DGL aus c): $x(t) = x_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \cdot t + \varphi_0)$

$x(t)$: Auslenkung in Abhängigkeit der Zeit

x_0 : maximal mögliche Auslenkung bei $t = 0$

δ : Dämpfungskoeffizient

ω_0 : Kreisfrequenz des ungedämpften Oszillators

φ_0 : Phase bei $t = 0$

$x_0 \cdot e^{-\delta t}$: Exponentiell mit der Zeit abklingende Amplitude

$\sin(\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \cdot t + \varphi_0)$: Schwingung mit der Kreisfrequenz $\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$

e) Eine erzwungene Schwingung ist eine Schwingung, die durch eine periodische äußere Kraft der Frequenz ω angetrieben wird.

$$m \cdot \ddot{x} + \beta \cdot \dot{x} + D \cdot x = F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

m : Schwingende Masse

x, \dot{x}, \ddot{x} : Auslenkung, Geschwindigkeit, Beschleunigung

β : Reibungskonstante

$\beta \cdot \dot{x}$: Reibungskraft (hier proportional zur Geschwindigkeit)

D : Federkonstante

$F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$: Externe harmonische Kraft der Kreisfrequenz ω und der Amplitude F_0

- f) Wird ein Oszillator mit seiner Eigenfrequenz bzw. einer Frequenz nahe seiner Eigenfrequenz ω_0 (Eigen- oder Resonanzfrequenz ist die Frequenz, mit der ein Oszillator schwingt, wenn keine antreibende und dämpfende Kraft auf ihn wirkt) angeregt, dann führt dies zu Schwingungen des Oszillators mit der Erregerfrequenz mit Amplituden, die weit über der Amplitude A_0 des Erregers liegen können.

