

Newtonsche Gesetze

1. Der ICE-3 hat laut Hersteller eine maximale Anzugkraft von 300 kN und ein „Leergewicht“ von 405 t. Der Zug hat 415 Sitzplätze. Wir unterstellen für die Masse eines Passagiers eine Masse von 75 kg. Welche maximale Beschleunigung erreicht der vollbesetzte Zug?



Lösung: $a = \frac{F}{m} = \frac{3,0 \cdot 10^5 \text{ N}}{4,05 \cdot 10^5 \text{ kg} + 415 \cdot 75 \text{ kg}} = 0,69 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

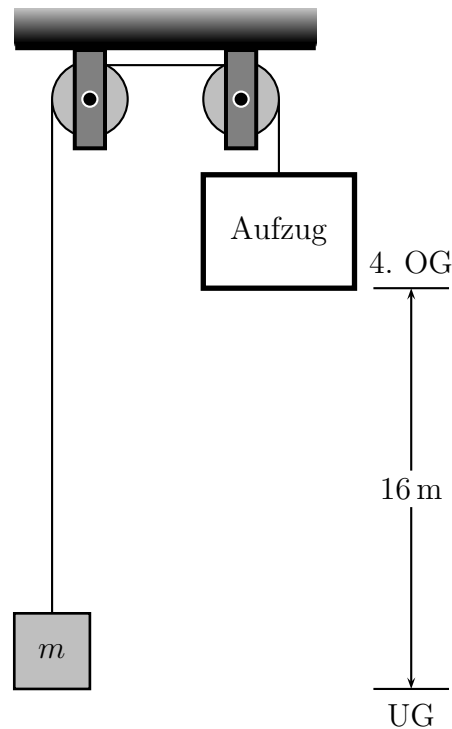
2. Zur Bedeutung der Anschnallpflicht in Autos führte der Bayerische Rundfunk am 21.02.2011 eine Umfrage durch. Auf die Frage zur Bedeutung der Anschnallpflicht meinte eine befragte Person, dass beim Aufprall eines Autos auf die Insassen Kräfte wirken, die sie nach vorn durch die Windschutzscheibe schleudern. Nimm aus physikalischer Sicht Stellung zu dieser Aussage.

Lösung: Auf die Insassen wirken beim Aufprall gerade keine Kräfte. Aufgrund des Trägheitsgesetzes behalten die Insassen zunächst ihre Geschwindigkeit in Fahrtrichtung bei. Wenn das Auto zum Stillstand gekommen ist „bewegen“ sie sich durch die Windschutzscheibe, sofern sie nicht etwa vorher durch einen Gurt gezwungen werden ihren Zustand der gleichförmigen Bewegung zu ändern.

3. Der nebenstehende Aufzug ist über zwei Umlenkrollen mit einer Masse m verbunden. Die Masse des leeren Aufzugs beträgt 1,4 t. Er darf maximal 16 Personen mit einer Masse von jeweils 75 kg aufnehmen.

- (a) Welche Aufgabe hat die Masse m und wieso führt man die Konstruktion eines Aufzugs in dieser Form aus?
- (b) Welchen Wert muss m haben, damit der vollbesetzte Aufzug eine Beschleunigung von $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ erfährt?
- (c) Der Boden des Aufzugs befindet sich nun im vierten Stock und ist dabei 16 m über seinem Ziel im ersten Untergeschoß.

Wie groß musst du die Bremsbeschleunigung wählen, wenn der Bremsvorgang 4,0 m über dem Kellerboden beginnt?



Lösung: (a)

$$(m_A - m) g = (m + m_A) a$$

$$m = m_A \frac{g - a}{g + a}$$

$$m = \frac{9,8 - 1,2}{9,8 + 1,2} \cdot (1,4 \cdot 10^3 + 16 \cdot 75) \text{ kg} = 2,0 \text{ t}$$

- (b) v ist die Geschwindigkeit bei der der Bremsvorgang beginnt. Dann gilt mit der 3. Bewegungsgleichung:

$$v^2 = 2 a (h - 4,0 \text{ m}) \quad \text{und} \quad v^2 = 2 \tilde{a} 4,0 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \tilde{a} = 3 \cdot a = 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

4. Für die Reibungskraft zwischen Luft und einem Körper (*Luftwiderstand*) gilt folgender Zusammenhang: $R = C \cdot v^2$. C hängt von der Form des Körpers ab. Für einen Fallschirmspringer ($m = 80 \text{ kg}$) ist $C = 0,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ bei geschlossenem und $C = 16 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ bei geöffnetem Schirm. Welche konstante Endgeschwindigkeit erreicht der Springer bei geschlossenem (geöffnetem) Schirm?

Lösung: Die Geschwindigkeit ist konstant, wenn die Gesamtkraft auf den Körper null ist:

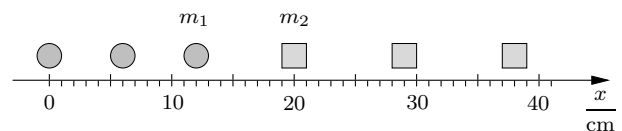
$$-mg + Cv^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{mg}{C}} = \begin{cases} -63 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -226 \frac{\text{km}}{\text{h}} & (\text{Schirm geschlossen}) \\ -7,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -25 \frac{\text{km}}{\text{h}} & (\text{Schirm offen}) \end{cases}$$

5. Ein recht gut trainierter Sprinter schafft es seine Geschwindigkeit beim Start von 0 in etwa 5 Sekunden auf $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zu steigern. Das bedeutet, dass er eine durchschnittliche Beschleunigung von $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ erreicht. Wenn wir eine Masse des Sprinters von 75 kg unterstellen, benötigt er nach dem zweiten Newtonschen Gesetz dazu eine Kraft von $F = m a = 75 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 150 \text{ N}$. Dies entspricht in etwa einer Gewichtskraft von 15 kg.

Ist der Sprinter so ~~schwach oder~~ woran liegt es, dass er so langsam beschleunigt?

Lösung: Der Sprinter kann nur dann eine beschleunigende Kraft erfahren, wenn er Kontakt mit dem Boden hat. Damit die mittlere beschleunigende Kraft dann 150 N ist, muss die beschleunigende Kraft während dieser Zeit bedeutend größer sein.

6. Nebenstehende Abbildung zeigt eine Stroboskopaufnahme von zwei zunächst ruhenden und dann auseinanderschnellenden



Körpern. Die Zeit zwischen zwei Lichtblitzen ist $\Delta t = 0,20 \text{ s}$. Die Masse der Kugel ist $m_1 = 36 \text{ g}$. Berechne die Masse m_2 des Würfels.

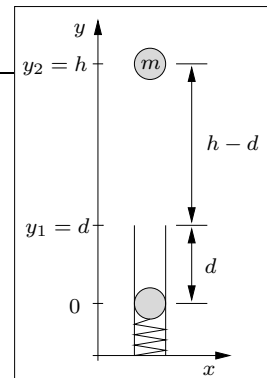
Lösung: $|v_1| = \frac{6 \text{ cm}}{0,20 \text{ s}} = 30 \frac{\text{cm}}{\text{s}}, \quad |v_2| = \frac{9 \text{ cm}}{0,20 \text{ s}} = 45 \frac{\text{cm}}{\text{s}}, \quad m_2 = \frac{|v_1|}{|v_2|} \cdot m_1 = \frac{30}{45} \cdot 36 \text{ g} = 24 \text{ g}$

7. Die Feder einer Spielzeugkanone ($D = 5,4 \frac{\text{N}}{\text{m}}$) ist gerade dann entspannt, wenn die Kugel der Masse $m = 10 \text{ g}$ die Mündung ($y_1 = d = 20 \text{ cm}$) erreicht.

Welche maximale Höhe $y_2 = h$ erreicht die Kugel, wenn sie bei $y_0 = 0$ mit $v_0 = 0$ startet?

Zeichne in **ein** yW -Diagramm die Grafen aller auftretenden Energieformen!

Berechne die Geschwindigkeit der Kugel in Abhängigkeit von y und zeichne das yv -Diagramm. Wo ist die Geschwindigkeit maximal und wie groß ist v_{max} ?



Lösung: Als Nullpunkt der potentiellen Energie der Gravitation wählen wir $y_0 = 0$, d.h.

$$W_p(y) = mgy$$

Da die Kugel nicht an der Feder befestigt ist, ist die Spannenergie der Feder in Abhängigkeit von y :

$$W_F(y) = \begin{cases} \frac{D}{2}(d-y)^2 & \text{für } y \leq d \\ 0 & \text{für } y > d \end{cases}$$

Da die Gesamtenergie W_{ges} konstant ist (Energiesatz), gilt

$$W_p(y) + W_F(y) + W_{\text{kin}}(y) = W_{\text{ges}} = \text{konstant}$$

Im tiefsten Punkt ($y = 0$) ruht die Kugel, d.h. ihre kinetische Energie ist null. Da dort auch die potentielle Energie null ist, lautet der Energiesatz für $y = 0$:

$$\underbrace{W_p(0)}_0 + \underbrace{W_F(0)}_{\frac{D}{2}d^2} + \underbrace{W_{\text{kin}}(0)}_0 = W_{\text{ges}}$$

oder

$$W_{\text{ges}} = \frac{D}{2}d^2 = 2,7 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,2^2 \text{ m}^2 = 0,108 \text{ J}$$

Im höchsten Punkt ($y = y_2$) sind die kinetische und die Federenergie null:

$$mg(y_2 - y_0) = W_{\text{ges}} \quad \Rightarrow \quad y_2 = \frac{W_{\text{ges}}}{mg} + y_0 = \frac{0,108 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2}}{0,01 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,20 \text{ m}$$

$$W_{\text{kin}}(y) = W_{\text{ges}} - W_p(y) - W_F(y) = \begin{cases} W_{\text{kin},1} & \text{für } y \leq y_1 \\ W_{\text{kin},2} & \text{für } y > y_1 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{kin},1}(y) &= \frac{D}{2}d^2 - mgy - \frac{D}{2}(y-d)^2 = -\frac{D}{2}y^2 + (Dd - mg)y = \\ &= -2,7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} y^2 + 0,9819 \frac{\text{J}}{\text{m}} y \end{aligned}$$

$$W_{\text{kin},2}(y) = \frac{D}{2}d^2 - mgy = 0,108 \text{ J} - 0,0981 \frac{\text{J}}{\text{m}} y$$

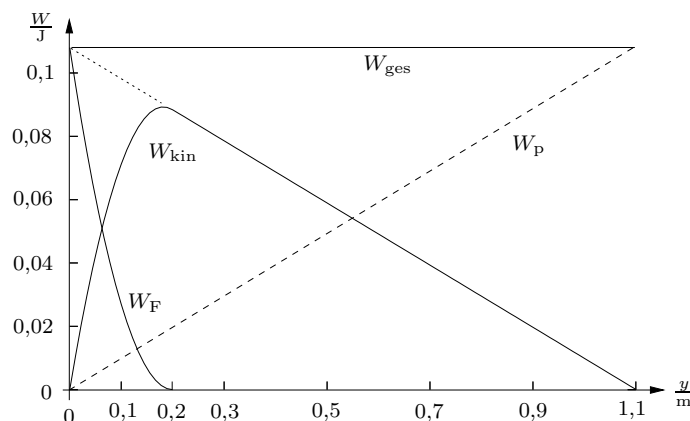
Die Kugel wird schneller, wenn die Gesamtkraft $F(y)$ auf sie positiv ist, d.h. wenn die Federkraft F_D größer als die Gewichtskraft ist. Wenn die Gesamtkraft auf die Kugel negativ ist ($F_D < mg$), dann wird die Kugel wieder langsamer. Ihre maximale Geschwindigkeit erreicht die Kugel also am Ort y_3 mit $F(y_3) = 0$ bzw.

$$F_D(y_3) = D(d - y_3) = mg \quad \Rightarrow \quad y_3 = d - \frac{mg}{D} = 18,2 \text{ cm}$$

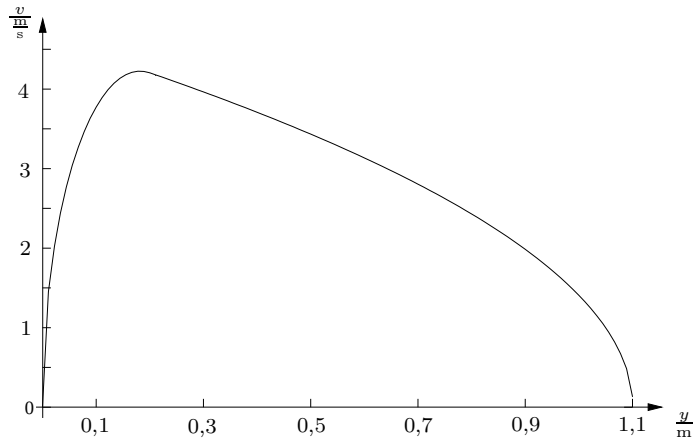
Die maximale kinetische Energie ist

$$W_{\text{kin,max}} = W_{\text{kin},1}(y_3) = \frac{D}{2} \left(d - \frac{mg}{D} \right)^2 = 0,0893 \text{ J}$$

$$\frac{m}{2} v_{\text{max}}^2 = W_{\text{kin,max}} \quad \Rightarrow \quad v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2W_{\text{kin,max}}}{m}} = 4,23 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



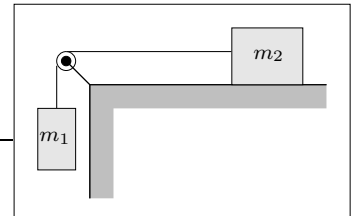
$$v(y) = \sqrt{\frac{2W_{\text{kin}}}{m}}$$



Die Steigung des Grafen von $v(y)$ ist bei $y_0 = 0,1 \text{ m}$ und bei $y_2 = 1,2 \text{ m}$ unendlich. Das bedeutet aber nicht, dass die Beschleunigung $a(y)$ an diesen Stellen unendlich ist, da es sich ja um ein yv - und nicht um ein tv -Diagramm handelt. Die Beschleunigung erhält man am einfachsten über die Kraft:

$$a(y) = \frac{F(y)}{m} = \begin{cases} \frac{D(d-y)}{m} - g & \text{für } y \leq d \\ -g & \text{für } y > d \end{cases}$$

8. Berechne die Beschleunigung der Masse m_2 sowie die Fadenspannung F_S unter Vernachlässigung der Masse und der Reibung der Rolle sowie der Fadenmasse! Die Reibungszahl zwischen dem Klotz mit der Masse m_2 und seiner Unterlage sei μ . Für welches m_1 bewegt sich die Anordnung mit konstanter Geschwindigkeit?



Lösung: Die Gewichtskraft von m_1 muss beide Massen beschleunigen und die Reibung von m_2 überwinden:

$$m_1 g = (m_1 + m_2) a + \mu m_2 g \quad \Rightarrow \quad a = \frac{m_1 - \mu m_2}{m_1 + m_2} g$$

Die Fadenspannung ist gleich der Kraft auf die Masse m_2 :

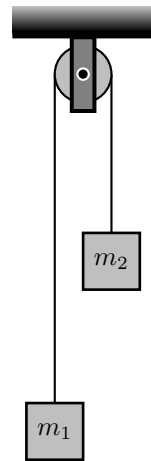
$$F_S = a m_2 + \mu m_2 g = \frac{m_1 m_2 (1 + \mu)}{m_1 + m_2} g$$

Oder: Die Fadenspannung ist gleich der Kraft, die von der Gewichtskraft von m_1 übrig bleibt, wenn die zur Beschleunigung von m_1 nötige Kraft subtrahiert wird (das ist die Gewichtskraft im beschleunigten Bezugssystem):

$$F_S = m_1 g - m_1 a = m_1 (g - a) = \frac{m_1 m_2 (1 + \mu)}{m_1 + m_2} g$$

Konstante Geschwindigkeit, wenn $a = 0$, d.h. wenn $m_1 = \mu m_2$.

9. Berechne die Beschleunigung, die m_2 erfährt, wenn $m_1 = 98,0 \text{ g}$ und $m_2 = 102 \text{ g}$ ist.



Lösung: $(m_2 + m_1) a = (m_2 - m_1) g \quad \Rightarrow \quad a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g = 0,0200 g = 0,196 \text{ m s}^{-2}$